

APPENDIX A

PERHITUNGAN NERACA MASSA

Asumsi:

- 1 tahun = 300 hari
- 1 hari = 24 jam
- Kapasitas per tahun = 5.968 ton/tahun

Teh bubuk yang digunakan=100,64 kg dalam sekali proses ekstraksi. Berdasarkan literatur, dengan massa awal teh hijau kering sebesar 100,64 kg, maka akan didapatkan hasil akhir produk teh bubuk sebesar 370,37 kg/jam [13].

Pembuatan teh bubuk:

1. Ekstraksi



- Ekstraksi=2,5 jam, jadi dalam 1 hari dapat dilakukan 9 batch proses ekstraksi

Proses ekstraksi berlangsung selama 2,5 jam dalam sehari sehingga proses ini dapat berlangsung sebanyak 9 kali dalam sehari. Proses ekstraksi ini berlangsung secara batch.

Berikut ini adalah besarnya *Extraction efficiency* untuk tiap komponen daun teh [8]:

Komponen	EE (%)
<i>Caffein</i>	89,1
<i>Catechin</i>	57,2

Komponen lain :	
Protein	30,6
Abu	30,6
Lemak	30,6
Karbohidrat	30,6
Trace	30,6

Air dan daun teh yang masuk ke proses ekstraksi sebanyak 3.972,68 kg/batch, terdiri dari air sebanyak 3.872,04 kg dan daun teh sebanyak 100,64 kg.

Komponen Masuk:

- Daun teh dari tangki penampung daun teh F120. Daun teh ini memiliki komposisi sebagai berikut [7]:

- *Caffeine*=3,6% x 100,64 kg/batch=3,62 kg/batch
- *Catechin*=38,73% x 100,64 kg/batch=38,98 kg/batch
- Komponen lain:
 - Protein=15% x 100,64 kg/batch=15,10 kg/batch
 - Abu=5% x 100,64 kg/batch=5,03 kg/batch
 - Lemak=3% x 100,64 kg/batch=3,02 kg/batch
 - Karbohidrat=25% x 100,64 kg/batch=25,16 kg/batch
 - *Trace*=9,67% x 100,64 kg/batch=9,73 kg/batch

- Air :

Air teh:daun teh=40:1

Air yang masuk=40L/kg x 100,64 kg/batch x 0,96184 kg/L

=3.872,04 kg/batch

Komponen Keluar:

Daun teh yang terekstraksi memiliki nilai *extraction efficiency* sebesar [8]:

- *Caffeine*=89,1% x 3,62 kg/batch=3,23 kg/batch
- *Catechin*=57,2% x 38,98 kg/batch=22,30 kg/batch
- Komponen lain:

- Protein = $30,6\% \times 15,10 \text{ kg/batch} = 4,62 \text{ kg/batch}$
- Abu = $30,6\% \times 5,03 \text{ kg/batch} = 1,54 \text{ kg/batch}$
- Lemak = $30,6\% \times 3,02 \text{ kg/batch} = 0,92 \text{ kg/batch}$
- Karbohidrat = $30,6\% \times 25,16 \text{ kg/batch} = 7,70 \text{ kg/batch}$
- Trace = $30,6\% \times 9,73 \text{ kg/batch} = 2,98 \text{ kg/batch}$
- Air = 3.872,04 kg/batch

Ampas daun teh:

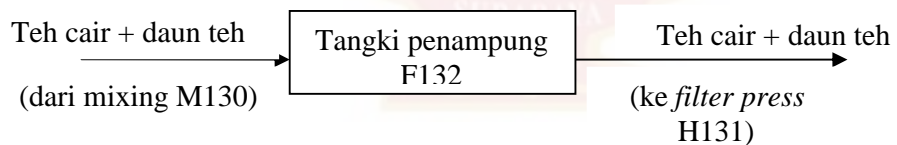
Banyaknya komponen daun teh yang terdapat di dalam padatan ampas didapatkan dengan cara mengurangkan 100% dengan besarnya *extraction efficiency* untuk masing-masing komponen.

- Caffeine = $(100\% - 89,1\%) \times 3,62 \text{ kg/batch} = 0,39 \text{ kg/batch}$
- Catechin = $(100\% - 57,2\%) \times 38,98 \text{ kg/batch} = 16,68 \text{ kg/batch}$
- Komponen lain:
 - Protein = $(100\% - 30,6\%) \times 15,10 \text{ kg/batch} = 10,48 \text{ kg/batch}$
 - Abu = $(100\% - 30,6\%) \times 5,03 \text{ kg/batch} = 3,49 \text{ kg/batch}$
 - Lemak = $(100\% - 30,6\%) \times 3,02 \text{ kg/batch} = 2,10 \text{ kg/batch}$
 - Karbohidrat = $(100\% - 30,6\%) \times 25,16 \text{ kg/batch} = 17,46 \text{ kg/batch}$
 - Trace = $(100\% - 30,6\%) \times 9,73 \text{ kg/batch} = 6,75 \text{ kg/batch}$

Masuk (kg/batch)		Keluar (kg/batch)	
Dari storage F120		Ke tangki penampung F132	
Daun teh:	100,64	Teh cair:	
Caffeine	3,62	~ Daun teh yang terekstraksi	
Catechin	38,98		
Komponen lain:			

Protein	15,10	<i>Caffeine</i>	3,23
Abu	5,03	<i>Catechin</i>	22,30
Lemak	3,02	Komponen lain:	
Karbohidrat	25,16	Protein	4,62
Trace	9,73	Abu	1,54
Dari tangki pemanas E110		Lemak	0,92
Air	3.872,04	Karbohidrat	7,70
		<i>Trace</i>	2,98
		Air	3.872,04
		~ Ampas daun teh	
		<i>Caffeine</i>	0,39
		<i>Catechin</i>	16,68
		Komponen lain:	
		Protein	10,48
		Abu	3,49
		Lemak	2,10
		Karbohidrat	17,46
		<i>Trace</i>	6,75
Jumlah	3.972,68	Jumlah	3.972,68

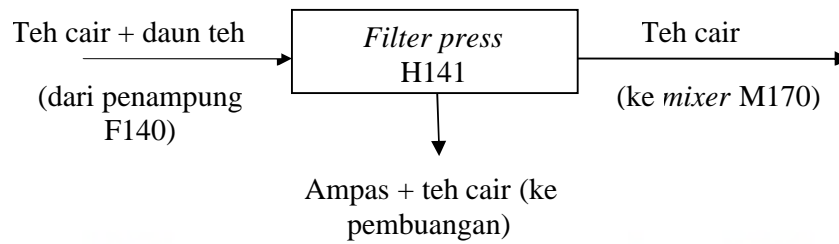
2. Tangki Penampung F132



Komponen yang masuk dari M130 = komponen yang keluar ke H131

Masuk (kg/batch)		Keluar (kg/batch)	
Dari M130		Ke filter press H131	
Teh cair:		Teh cair:	
~ Daun teh yang terekstraksi		~ Daun teh yang terekstraksi	
<i>Caffeine</i>	3,23	<i>Caffeine</i>	3,23
<i>Catechin</i>	22,30	<i>Catechin</i>	22,30
Komponen lain:		Komponen lain:	
Protein	4,62	Protein	4,62
Abu	1,54	Abu	1,54
Lemak	0,92	Lemak	0,92
Karbohidrat	7,70	Karbohidrat	7,70
<i>Trace</i>	2,98	<i>Trace</i>	2,98
Air	3.872,04	Air	3.872,04
~ Ampas daun teh		~ Ampas daun teh	
<i>Caffeine</i>	0,39	<i>Caffeine</i>	0,39
<i>Catechin</i>	16,68	<i>Catechin</i>	16,68
Komponen lain:		Komponen lain:	
Protein	10,48	Protein	10,48
Abu	3,49	Abu	3,49
Lemak	2,10	Lemak	2,10
Karbohidrat	17,46	Karbohidrat	17,46
<i>Trace</i>	6,75	<i>Trace</i>	6,75
Jumlah	3.972,68	Jumlah	3.972,68

3. Proses filter press



Komponen Masuk:

Ekstrak air teh dari tangki ekstraksi M130:

- *Caffeine*=3,23 kg/batch
- *Catechin*=22,30 kg/batch
- Komponen lain:
 - Protein=4,62 kg/batch
 - Abu=1,54 kg/batch
 - Lemak=0,92 kg/batch
 - Karbohidrat=7,70 kg/batch
 - *Trace*=2,98 kg/batch
- Air=3.872,04 kg/batch

Ampas daun teh:

- *Caffeine*=0,39 kg/batch
- *Catechin*=16,68 kg/batch
- Komponen lain:
 - Protein=10,48 kg/batch
 - Abu=3,49 kg/batch
 - Lemak=2,10 kg/batch

- Karbohidrat=17,46 kg/batch
- *Trace*=6,75 kg/batch

Komponen Keluar:

Asumsi:

- Air teh yang terikut pada ampas daun teh dan menuju pembuangan sebesar 10% dari total air teh.
- Tidak ada ampas padatan yang terikut dalam air teh yang melewati saringan dan menuju tangki *mixing*.

➤ Menuju Pembuangan

Ampas padatan:

- *Caffeine*=0,39 kg/batch
- Catechin=16,68 kg/batch
- Komponen lain:
 - Protein=10,48 kg/batch
 - Abu=3,49 kg/batch
 - Lemak=2,10 kg/batch
 - Karbohidrat=17,46 kg/batch
 - *Trace*=6,75 kg/batch

Ekstrak yang terikut:

- *Caffeine*=10% x 3,23 kg/batch=0,32 kg/batch
- *Catechin*=10% x 22,30 kg/batch=2,23 kg/batch
- Komponen lain:
 - Protein=10% x 4,62 kg/batch=0,46 kg/batch

- Abu=10% x 1,54 kg/batch=0,15 kg/batch
- Lemak=10% x 0,92 kg/batch=0,09 kg/batch
- Karbohidrat=10% x 7,70 kg/batch=0,77 kg/batch
- *Trace*=10% x 2,98 kg/batch=0,30 kg/batch
- Air=10% x 3.872,04 kg/batch=387,20 kg/batch

➤ Menuju Proses Tangki penampung F140

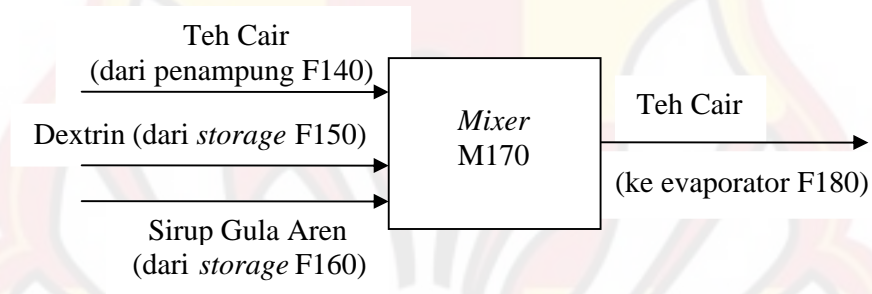
Ekstrak teh:

- *Caffeine*=(100%-10%) x 3,32 kg/batch=2,91 kg/batch
- *Catechin*=(100%- 10%) x 22,30 kg/batch=20,07 kg/batch
- Komponen lain:
 - Protein=(100%-10%) x 4,62 kg/batch=4,16 kg/batch
 - Abu=(100%-10%) x 1,54 kg/batch=1,39 kg/batch
 - Lemak=(100%- 10%) x 0,92 kg/batch=0,83 kg/batch
 - Karbohidrat=(100%-10%) x 7,70 kg/batch=6,93 kg/batch
 - *Trace*=(100%-10%) x 2,98 kg/batch=2,68 kg/batch
- Air=(100%-10%) x 3.872,04 kg/batch=3.484,83 kg/batch

Masuk (kg/batch)		Keluar (kg/batch)	
Dari tangki ekstraksi M130 Teh cair:		Ke pembuangan	
		Ampas daun teh: <i>Caffeine</i>	57,36 0,39

~ Daun teh yang terekstraksi	3,23	<i>Catechin</i>	16,68
<i>Caffeine</i>	22,30	Komponen lain:	
<i>Catechin</i>		Protein	10,48
Komponen lain:	4,62	Abu	3,49
Protein	1,54	Lemak	2,10
Abu	0,92	Karbohidrat	17,46
Lemak	7,70	<i>Trace</i>	6,75
Karbohidrat	2,98	Ekstrak yang terikut di	
<i>Trace</i>	3.872,04	ampas:	391,53
Air		<i>Caffeine</i>	0,32
~ Ampas daun teh	0,39	<i>Catechin</i>	2,23
<i>Caffeine</i>	16,68	Komponen lain:	0,46
<i>Catechin</i>		Protein	0,15
Komponen lain:	10,48	Abu	0,09
Protein	3,49	Lemak	0,77
Abu	2,10	Karbohidrat	0,30
Lemak	17,46	<i>Trace</i>	387,20
Karbohidrat	6,75	Air	3.523,79
<i>Trace</i>		Ke tangki penampung F140	2,91
		Teh cair:	20,07
		<i>Caffeine</i>	4,16
		<i>Catechin</i>	1,39
		Komponen lain:	0,83
		Protein	6,93
		Abu	2,68
		Lemak	3.484,68
		Karbohidrat	
		<i>Trace</i>	
		Air	
Jumlah	3.972,68	Jumlah	3.972,68

4. Proses *Mixing* M170



Komponen Masuk:

Dari hasil percobaan pendahuluan, sirup gula aren yang ditambahkan sebesar $\frac{1}{4}$ dari total berat air teh. Kandungan air pada sirup gula aren adalah 32,5% dan sisanya adalah padatan sebanyak 67,5% [14].

Sirup gula aren:

- Air = $32,5\% \times 25\% \times 3.523,79 \text{ kg/batch} = 286,31 \text{ kg/batch}$
- Aren solid = $67,5\% \times 25\% \times 3.523,79 \text{ kg/batch} = 594,64 \text{ kg/batch}$

Dextrin yang ditambahkan 7,5% dari total berat air teh.

Dextrin = $7,5\% \times 3.523,79 \text{ kg/batch} = 264,28 \text{ kg/batch}$

Daun teh yang terekstraksi:

- *Caffeine* = 2,91 kg/batch
- *Catechin* = 20,07 kg/batch
- Komponen lain:
 - Protein = 4,16 kg/batch

- Abu=1,39 kg/batch
- Lemak=0,83 kg/batch
- Karbohidrat=6,93 kg/batch
- *Trace*=2,68 kg/batch
- Air=3.484,83 kg/batch

Komponen Keluar:

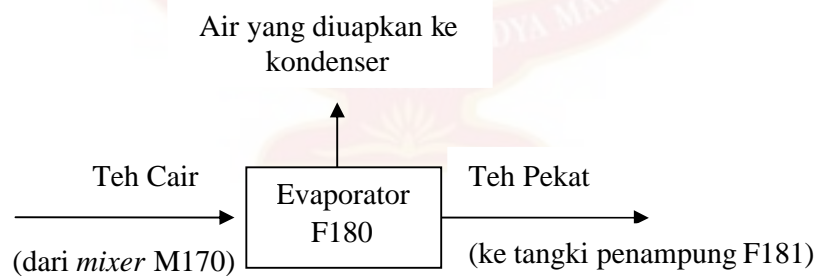
Teh Cair:

- *Caffeine*=2,91 kg/batch
- *Catechin*=20,07 kg/batch
- Komponen lain:
 - Protein=4,16 kg/batch
 - Abu=1,39 kg/batch
 - Lemak=0,83 kg/batch
 - Karbohidrat=6,93 kg/batch
 - *Trace*=2,68 kg/batch
- Air= air + air dari sirup gula aren
 =3.484,83 kg/batch + 286,31 kg/batch
 =3.771,14 kg/batch
- Aren solid=594,64 kg/batch
- Dextrin=264,28 kg/batch

Masuk (kg/batch)		Keluar (kg/batch)	
Dari tangki penampung F140	3.523,79	Ke evaporator F180	
		Teh cair:	

Teh cair:		<i>Caffeine</i>	4.669,02
~ Daun teh yang terekstraksi	2,91	<i>Catechin</i>	2,91
	20,07		20,07
<i>Caffeine</i>	4,16	Komponen lain:	4,16
<i>Catechin</i>	1,39	Protein	1,39
	0,83	Abu	0,83
Komponen lain:	6,93	Lemak	2,68
Protein	2,68		3.771,14
Abu	3.484,68	Karbohidrat	594,64
Lemak	880,95	<i>Trace</i>	264,28
Karbohidrat	286,31	Air	
<i>Trace</i>	594,64	Aren solid	
Air		Dextrin	
Dari storage F160	264,28		
Sirup gula aren:			
Air			
Aren solid			
Dari storage F150			
Dextrin			
Jumlah	4.669,02	Jumlah	4.669,02

5. Proses Evaporasi



Proses evaporasi memiliki tangki penampung untuk menjaga agar aliran masuk ke *spray dryer* tetap kontinyu, aliran masuk sebesar 4.669,02 kg/batch.

Kandungan air pada teh setelah keluar dari proses evaporator sebesar 55% [15].

Komponen Masuk:

Teh Cair:

- *Caffeine*=2,91 kg/batch
- *Catechin*=20,07 kg/batch
- Komponen lain:
 - Protein=4,16 kg/batch
 - Abu=1,39 kg/batch
 - Lemak=0,83 kg/batch
 - Karbohidrat=6,93 kg/batch
 - *Trace*=2,68 kg/batch
- Air=3.771,14 kg/batch
- Aren solid=594,64 kg/batch
- Dextrin=264,28 kg/batch

Komponen Keluar:

Teh Pekat:

- *Caffeine*=2,91 kg/batch
- *Catechin*=20,07 kg/batch
- Komponen lain:
 - Protein=4,16 kg/batch
 - Abu=1,39 kg/batch
 - Lemak=0,83 kg/batch

- Karbohidrat=6,93 kg/batch
- *Trace*=2,68 kg/batch
- Aren solid=594,64 kg/batch
- Dextrin=264,28 kg/batch

Jumlah air dalam kandungan teh pekat (x) [15]:

$$\frac{x}{\text{massa teh cair} - (\text{massa air dalam teh cair} - x)} = 55\%$$

$$x = 1.097,41 \text{ kg/batch}$$

Air yang diuapkan = air dalam teh cair - air dalam teh pekat

$$= 3.771,14 \text{ kg/batch} - 1.097,41 \text{ kg/batch}$$

$$= 2.673,73 \text{ kg/batch}$$

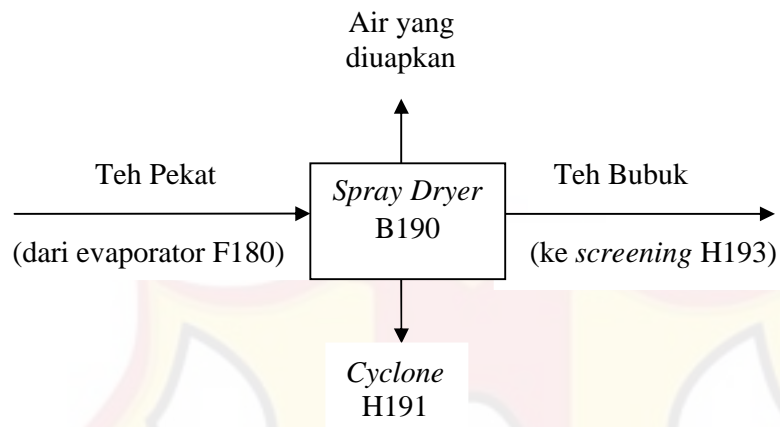
Masuk (kg/batch)		Keluar (kg/batch)	
Dari Mixer M170		Ke tangki penampung F181	
Teh cair:	4.669,02	Teh pekat :	1.995,29
<i>Caffeine</i>	2,91	<i>Caffeine</i>	2,91
<i>Catechin</i>	20,07	<i>Catechin</i>	20,07
Komponen lain:		Komponen lain:	
Protein	4,16	Protein	4,16
Abu	1,39	Abu	1,39
Lemak	0,83	Lemak	0,83
Karbohidrat	6,93	Karbohidrat	6,93
<i>Trace</i>	2,68	<i>Trace</i>	2,68
Air	3.771,14	Air	1.097,41
Aren solid	594,64	Aren solid	594,64
Dekstrin	264,28	Dekstrin	264,28
		Air yang diuapkan	2.673,73
Jumlah	4.669,02	Jumlah	4.669,02

6. Tangki Penampung



Masuk (kg/batch)		Keluar (kg/batch)	
Dari evaporator F180		Ke spray dryer B190	
Teh pekat:	798,11	Teh pekat:	798,11
	1,16		1,16
<i>Caffeine</i>	8,03	<i>Caffeine</i>	8,03
<i>Catechin</i>	1,66	<i>Catechin</i>	1,66
	0,55		0,55
Komponen lain:	0,33	Komponen lain:	0,33
Protein	2,77	Protein	2,77
	1,07		1,07
Abu	438,96	Abu	438,96
Lemak	237,86	Lemak	237,86
Karbohidrat	105,71	Karbohidrat	105,71
<i>Trace</i>		<i>Trace</i>	
Air		Air	
Aren solid		Aren solid	
Dextrin		Dextrin	
Jumlah	798,11	Jumlah	798,11

7. Proses *Spray Dryer*



Kandungan air dalam teh bubuk haruslah 3% agar mencegah tumbuhnya jamur.

Pada proses *spray dryer* berlangsung secara kontinyu. Proses ini berhubungan dengan evaporasi yang berlangsung selama 2,5 jam setiap batch sehingga untuk tiap jam *spray dryer* didapatkan dengan cara bahan yang masuk dibagi dengan 2,5 jam. Berikut contoh perhitungannya:

Komponen Masuk:

Teh Pekat dari tangki penampung F181:

- *Caffeine*=2,91 kg/batch / 2,5 jam=1,16 kg/jam

Dengan cara yang sama, didapatkan hasil untuk komponen yang lain:

- *Catechin*=8,03 kg/jam

- Komponen lain:

- Protein=1,66 kg/jam

- Abu=0,55 kg/jam

- Lemak=0,33 kg/jam

- Karbohidrat=2,77 kg/jam

- *Trace*=1,07 kg/jam

- Aren solid=237,86 kg/jam

- Dextrin=105,71 kg/jam

Jumlah air dalam kandungan teh pekat=438,96 kg/jam

Komponen Keluar:

- Kandungan air keluar dari *spray dryer* adalah 3% [15].

Massa teh pekat masuk=798,11 kg/jam dengan perincian:

- Air=438,96 kg/jam
- Solid=798,11 kg/jam – 438,96 kg/jam = 359,15 kg/jam

Kandungan air dalam teh bubuk (x) [15]:

$$\frac{x}{\text{massa teh pekat} - (\text{massa air dalam teh pekat} - x)} = 3\%$$

$$x = 11,11 \text{ kg/jam}$$

- Material yang terikut dalam udara panas (*cyclone*) diasumsi sebesar 1%. Berikut ini perincian perhitungannya:

Teh bubuk:

- Caffeine=1% x 1,16 kg/jam=0,01 kg/jam
- Catechin=1% x 8,03 kg/jam=0,08 kg/jam
- Komponen lain:
 - Protein=1% x 1,66 kg/jam=0,02 kg/jam
 - Abu=1% x 0,55 kg/jam=0,01 kg/jam
 - Lemak=1% x 0,33 kg/jam=0,003 kg/jam
 - Karbohidrat=1% x 2,77 kg/jam=0,03 kg/jam
 - Trace=1% x 1,07 kg/jam=0,01 kg/jam
- Aren solid=1% x 237,86 kg/jam=2,38 kg/jam
- Dextrin=1% x 105,71 kg/jam=1,06 kg/jam

Jumlah material yang terikut adalah 3,59 kg/jam

- Teh bubuk

- *Caffeine*=*caffeine* pada teh cair masuk - *caffeine* yang keluar menuju cyclone

$$=1,66 \text{ kg/jam} - 0,01 \text{ kg/jam}$$

$$=1,65 \text{ kg/jam}$$

Dengan cara yang sama, didapatkan komposisi bahan lainnya dalam teh bubuk, seperti di bawah ini:

- *Catechin*=7,95 kg/jam
 - Protein=1,65 kg/jam
 - Abu=0,55 kg/jam
 - Lemak=0,33 kg/jam
 - Karbohidrat=2,74 kg/jam
 - *Trace*=1,06 kg/jam

- Air yang diuapkan=jumlah air dalam teh pekat masuk – jumlah air dalam teh bubuk

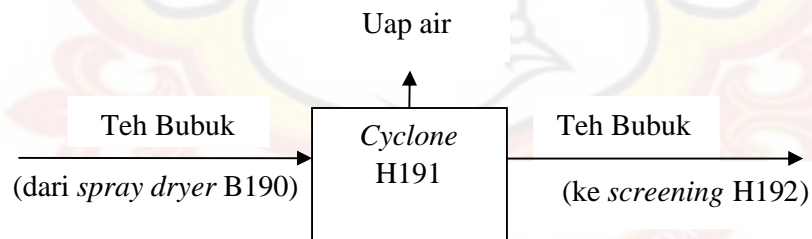
$$=438,96 \text{ kg/jam} - 11,11 \text{ kg/jam}$$

$$=427,86 \text{ kg/jam}$$

Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
Dari evaporator F180		Ke screening H192	
Teh pekat:		Teh bubuk:	
<i>Caffeine</i>	798,11	<i>Caffeine</i>	336,67
	1,16	<i>Catechin</i>	1,15
	8,03		

<i>Catechin</i>		Komponen lain:	7,95
	1,66		
Komponen lain:	0,55	Protein	
	0,33		
Protein	2,77	Abu	1,65
	1,07		
Abu		Lemak	0,55
	438,96		
Lemak		Karbohidrat	0,33
	237,86		
Karbohidrat		<i>Trace</i>	2,74
	105,71	Air	1,06
<i>Trace</i>			
Air		Aren solid	11,11
Aren solid		Dextrin	235,48
Dextrin		Ke cyclone H191	104,66
		Jumlah material	
		Air yang diuapkan	3,59
			427,86
Jumlah	798,11	Jumlah	798,11

8. Proses *Cyclone*



Teh bubuk yang masuk ke *cyclone*=teh bubuk yang keluar ke *cyclone*=3,37 kg/jam.

Uap air yang masuk=uap air keluar dari *spray dryer*=427,86 kg/jam

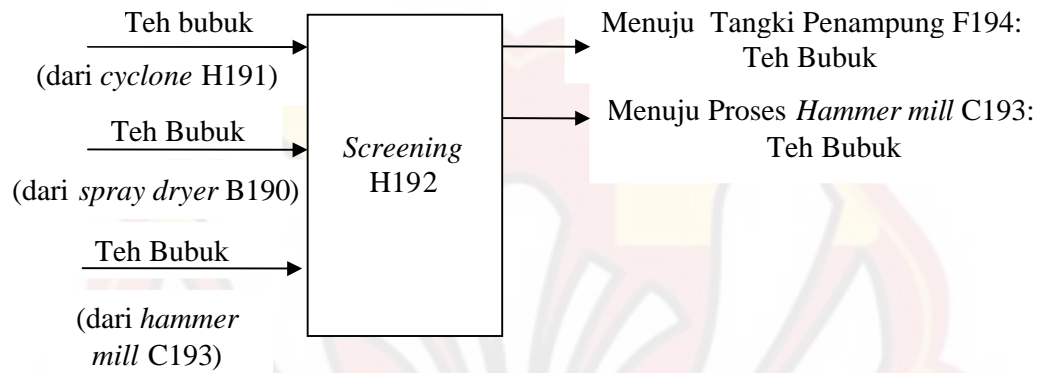
$$\frac{\text{massa air}}{\text{massa air} + \text{massa caffeine} + \text{massa catechin} + \text{massa komponen lain}} = 3\%$$

$$\frac{\text{massa air}}{\text{massa air} + 3,37} = 3\%$$

Massa air=0,11 kg/jam

Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
Dari <i>spray dryer</i> B190		Ke screening H192	
Teh bubuk:		Teh bubuk:	3,70
<i>Caffeine</i>	3,59	<i>Caffeine</i>	0,01
<i>Catechin</i>	0,01	<i>Catechin</i>	0,08
<i>Komponen lain:</i>	0,08	<i>Komponen lain:</i>	
Protein		Protein	0,02
Abu	0,02	Abu	0,01
Lemak	0,01	Lemak	0,003
Karbohidrat	0,003	Karbohidrat	0,03
<i>Trace</i>	0,03	<i>Trace</i>	0,01
Aren solid	0,01	Aren solid	2,38
Dextrin	2,38	Dextrin	1,06
Air yang diuapkan	1,06	Air	0,11
	427,86	Ke condenser:	
		Air yang diuapkan	427,74
Jumlah	431,45	Jumlah	431,45

9. Proses Screening



Komponen Masuk:

- ✓ Pada keadaan *steady state*, teh bubuk dari *spray dryer* B190 dianggap 95% dari teh bubuk yang keluar dari *spray dryer* B190 pada mula-mula karena dianggap telah ditambahkan dengan *oversize* dari *hammer mill* sebesar 5%. Maka teh bubuk pada *screening*, memiliki komposisi sebagai berikut:

- *Caffein*=1,15 kg/jam
- *Catechin*=7,95 kg/jam
- Komponen lain:

Protein=1,65 kg/jam

Abu=0,55 kg/jam

Lemak=0,33 kg/jam

Karbohidrat=2,74 kg/jam

Trace=1,06 kg/jam

- *Aren solid*=235,48 kg/jam
- *Dextrin*=104,66 kg/jam

- Air =11,11 kg/jam

✓ Teh bubuk dari *cyclone* H191:

- *Caffein*=0,01 kg/jam
- *Catechin*=0,08 kg/jam
- Komponen lain:

Protein=0,02 kg/jam

Abu=0,01 kg/jam

Lemak=0,003 kg/jam

Karbohidrat=0,03 kg/jam

Trace=0,01 kg/jam

- Aren solid=2,38 kg/jam
- Dextrin=1,06 kg/jam
- Air =0,11 kg/jam

✓ Teh bubuk dari *hammer mill* C243 dianggap 5 % dari total teh bubuk yang keluar dari *spray dryer* dan *cyclone* karena diasumsi bahwa semua *oversize* (sebesar 5%) yang masuk ke *hammer mill*, tidak ada yang tertinggal di *hammer mill*:

- $Caffein = 5\% / 95\% \times (Caffein \text{ yang masuk dari } spray \text{ dryer} + caffein \text{ yang masuk dari } cyclone)$
 $= 5\% / 95\% \times 1,16 \text{ kg/jam}$
 $= 0,06 \text{ kg/jam}$

Komponen yang lain dicari dengan cara yang sama, sehingga didapatkan:

- *Catechin*=0,42 kg/jam
- Komponen lain:

Protein=0,09 kg/jam

Abu=0,03 kg/jam

Lemak=0,02 kg/jam

Karbohidrat=0,15 kg/jam

Trace=0,06 kg/jam

- Aren solid=12,45 kg/jam
- Dextrin=5,51 kg/jam
- Air=0,71 kg/jam

Komponen Keluar:

- ✓ Oversize pada proses *hammer mill* diasumsi sebesar 5%.

Berikut ini perhitungan menuju ke proses *hammer mill*:

Teh bubuk

- $Caffein = 5\% / 95\% \times \text{caffeine yang masuk}$
 $= 5\% \times 1,16 \text{ kg/jam}$
 $= 0,06 \text{ kg/jam}$

Komponen yang lain dicari dengan cara yang sama, sehingga didapatkan:

- *Catechin*=0,42 kg/jam
- Komponen lain:

Protein=0,09 kg/jam

Abu=0,03 kg/jam

Lemak=0,02 kg/jam

Karbohidrat=0,15 kg/jam

Trace=0,06 kg/jam

- Aren solid=12,45 kg/jam
- Dextrin=5,51 kg/jam

- Air=0,71 kg/jam

✓ Menuju tangki penampung

Teh bubuk

- *Caffeine*=1,16

- *Catechin*=8,03 kg/jam

- Komponen lain:

Protein=1,66 kg/jam

Abu=0,55 kg/jam

Lemak=0,33 kg/jam

Karbohidrat=2,77 kg/jam

Trace= 1,07 kg/jam

- Aren solid=236,53 kg/jam

- Dextrin=104,77 kg/jam

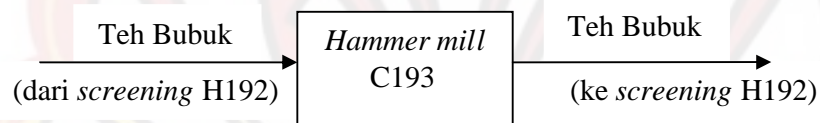
- Air=13,49 kg/jam

Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
Dari <i>Spray Dryer</i> B190		Ke tangki penampung F194	
Teh bubuk:	366,67	Teh bubuk:	370,37
<i>Caffeine</i>	1,15	<i>Caffeine</i>	1,16
<i>Catechin</i>	7,95	<i>Catechin</i>	8,03
Komponen lain:		Komponen lain:	
Protein	1,65	Protein	1,66
Abu	0,55	Abu	0,55
Lemak	0,33	Lemak	

Karbohidrat	2,74	Karbohidrat	0,33
<i>Trace</i>	1,06	<i>Trace</i>	2,77
Air	11,11	Air	1,07
Aren solid	235,48	Aren solid	13,49
Dextrin	104,66	Dextrin	236,53
Dari Cyclone H191		Ke hammermile C193	104,77
Teh bubuk:	3,70	Teh bubuk:	
<i>Caffeine</i>	0,01	<i>Caffeine</i>	
<i>Catechin</i>	0,08	<i>Catechin</i>	19,49
Komponen lain:		Komponen lain:	0,06
Protein	0,02	Protein	0,42
Abu	0,01	Abu	
Lemak	0,003	Lemak	0,09
Karbohidrat	0,03	Karbohidrat	0,03
<i>Trace</i>	0,01	<i>Trace</i>	0,02
Air	0,11	Air	0,15
Aren solid	2,38	Aren solid	0,06
Dextrin	1,06	Dextrin	0,71
Dari Hammer mill C193			12,45
Teh bubuk:			5,51
<i>Caffeine</i>			
<i>Catechin</i>	19,49		
Komponen lain:	0,06		
Protein	0,42		
Abu			
Lemak	0,09		
Karbohidrat	0,03		

<i>Trace</i>	0,02		
Air	0,15		
Aren solid	0,06		
Dextrin	0,71		
	12,45		
	5,51		
Jumlah	389,86	Jumlah	389,86

10. Proses *Hammer mill*

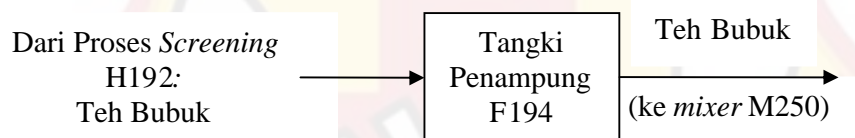


Teh bubuk yang masuk=teh bubuk yang keluar=19,49 kg/jam

Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
Dari Screening C192		Ke Screening C192	
Teh bubuk:		Teh bubuk:	
	19,49	<i>Caffeine</i>	19,49
<i>Caffeine</i>	0,06	<i>Catechin</i>	0,06
<i>Catechin</i>	0,42	Komponen lain:	0,42
Komponen lain:		Protein	
Protein	0,09	Abu	0,09
Abu	0,03	Lemak	0,03
Lemak	0,02	Karbohidrat	0,02
Karbohidrat	0,15	<i>Trace</i>	0,15
<i>Trace</i>	0,06	Air	0,06
Air	0,71	Aren solid	0,71
Aren solid			

Dextrin	12,45	Dextrin	12,45
	5,51		5,51
Jumlah	19,49	Jumlah	19,49

11. Tangki Penampung



Teh bubuk yang masuk = teh bubuk yang keluar = 370,37 kg/jam

Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
Dari Screening H192		Ke Screening C192	
Teh bubuk:		Teh bubuk:	
	370,37	<i>Caffeine</i>	370,37
<i>Caffeine</i>	1,16	<i>Catechin</i>	1,16
<i>Catechin</i>	8,03	Komponen lain:	8,03
Komponen lain:		Protein	
Protein	1,66	Abu	1,66
Abu	0,55	Lemak	0,55
Lemak	0,33	Karbohidrat	0,33
Karbohidrat	2,77	<i>Trace</i>	2,77
<i>Trace</i>	1,07	Air	1,07
Air	13,49	Aren solid	13,49
Aren solid	236,53	Dextrin	236,53
Dextrin			

	104,77		104,77
Jumlah	370,37	Jumlah	370,37

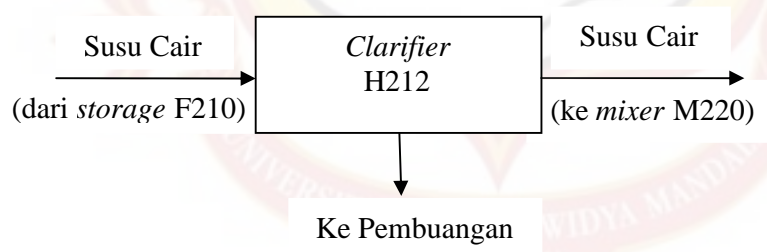
Pembuatan Susu Bubuk:

Pembuatan Susu Bubuk dengan basis 63.096,71 kg/hari. Berdasarkan literatur, dengan massa susu sebesar 63.096,71 kg/hari, maka akan didapatkan hasil akhir produk sebesar 370,37 kg/jam [16].

Berikut ini adalah komponen susu sapi murni:

Komponen	Jumlah (%)
lemak	3,9
protein	3,4
laktosa	4,8
abu	0,72
air	87,18

1. Proses *Clarifier*



Proses *clarifier* berlangsung selama 2,5 jam dalam sehari sehingga proses ini dapat berlangsung sebanyak 9 kali dalam sehari. Proses *clarifier* ini berlangsung secara batch dan dilakukan dalam 1 tangki. Berikut ini perhitungan secara keseluruhan:

Komponen Masuk:

Susu cair memiliki komposisi sebagai berikut:

$$\text{Lemak} = 3,9\% \times 63.096,71 \text{ kg/hari} \times \frac{1}{9} = 273,42 \text{ kg/batch}$$

$$\text{Protein} = 3,4\% \times 63.096,71 \text{ kg/hari} \times \frac{1}{9} = 238,37 \text{ kg/batch}$$

$$\text{Laktosa} = 4,8\% \times 63.096,71 \text{ kg/hari} \times \frac{1}{9} = 336,52 \text{ kg/batch}$$

$$\text{Abu} = 0,72\% \times 63.096,71 \text{ kg/hari} \times \frac{1}{9} = 50,48 \text{ kg/batch}$$

$$\text{Air} = 87,18\% \times 63.096,71 \text{ kg/hari} \times \frac{1}{9} = 6.111,97 \text{ kg/batch}$$

Komponen Keluar:

- ✓ Susu cair yang ke pembuangan sebesar 0,1% karena digunakan kecepatan maksimal *clarifier*, yaitu 8000 rpm. Pada kecepatan tersebut, partikel yang terpisah sebesar 0,1% dari total persen berat [17].

Susu cair:

$$\text{Lemak} = 0,1\% \times 273,42 \text{ kg/batch} = 0,27 \text{ kg/batch}$$

Dengan cara yang sama, maka didapatkan:

$$\text{Protein} = 0,24 \text{ kg/batch}$$

$$\text{Laktosa} = 0,34 \text{ kg/batch}$$

$$\text{Abu} = 0,05 \text{ kg/batch}$$

$$\text{Air} = 6,11 \text{ kg/batch}$$

- ✓ Menuju Pasteurisasi:

Susu cair:

$$\text{Lemak} = 99,9\% \times 273,42 \text{ kg/batch} = 273,15 \text{ kg/batch}$$

Dengan cara yang sama, maka didapatkan:

Protein=238,13kg/batch

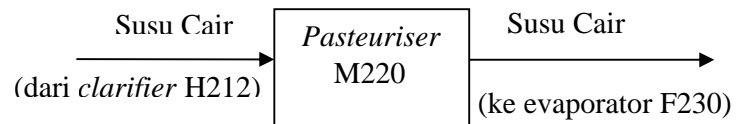
Laktosa=336,18 kg/batch

Abu=50,43 kg/batch

Air=6.105,86 kg/batch

Masuk (kg/batch)		Keluar (kg/batch)	
Dari storage F210		Ke Pembuangan	
Susu cair:		Susu cair:	7,01
Lemak	7.010,75	Lemak	0,27
Protein	273,42	Protein	0,24
Laktosa	238,37	Laktosa	0,34
Abu	336,52	Abu	0,05
Air	50,48	Air	6,11
	6.111,97	Ke pasteuriser M220	
		Susu cair:	7.003,73
		Lemak	273,15
		Protein	238,13
		Laktosa	336,18
		Abu	50,43
		Air	6.105,86
Jumlah	7.010,75	Jumlah	7.010,75

2. Proses Pasteurisasi



Susu cair yang masuk=susu cair yang keluar

Susu cair:

Lemak=273,15 kg/batch

Protein=238,13kg/batch

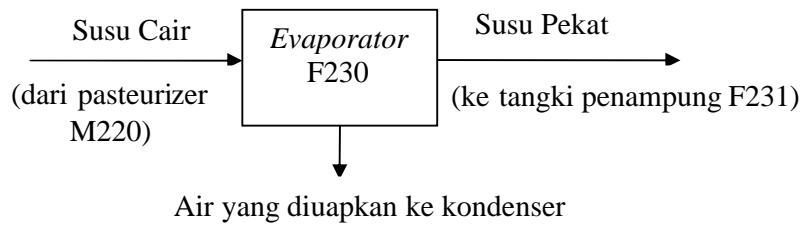
Laktosa= 336,18 kg/batch

Abu=50,43 kg/batch

Air=6.105,86 kg/batch

Masuk (kg/batch)		Keluar (kg/batch)	
Dari clarifier H212		Ke evaporator F230	
Susu cair:	7.003,73	Susu cair:	7.003,73
Lemak	273,15	Lemak	273,15
Protein	238,13	Protein	238,13
Laktosa	336,18	Laktosa	336,18
Abu	50,43	Abu	50,43
Air	6.105,86	Air	6.105,86
Jumlah	7.003,73	Jumlah	7.003,73

3. Proses Evaporasi



Proses evaporasi ini berlangsung secara batch selama 2,5 jam. Proses ini terdiri dari 1 tangki.

Berikut ini contoh perhitungannya:

Komponen Masuk:

Susu cair:

Lemak=273,15 kg/batch

Protein=238,13kg/batch

Laktosa=336,18 kg/batch

Abu=50,43 kg/batch

Air=6.105,86 kg/batch

Komponen Keluar:

Susu pekat:

Lemak=273,15 kg/batch

Protein=238,13kg/batch

Laktosa=336,18 kg/batch

Abu=50,43 kg/batch

Massa susu cair masuk sebanyak 7.003,73 kg/jam

Massa air dalam susu cair yang masuk sebanyak 6.105,86 kg/jam

Jumlah air dalam kandungan susu pekat (x) [17]:

$$\frac{x}{\text{massa susu cair} - (\text{massa air dalam susu cair} - x)} = 55\%$$

$$x = 1.097,41 \text{ kg/jam}$$

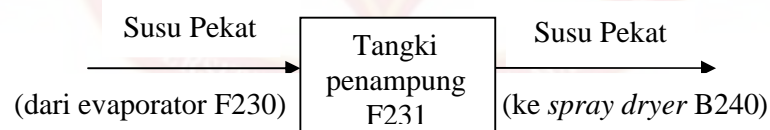
Air yang diuapkan = air masuk dalam susu cair - air dalam susu pekat

$$= 6.105,86 \text{ kg/jam} - 1.097,41 \text{ kg/jam}$$

$$= 5.008,45 \text{ kg/jam}$$

Masuk (kg/batch)		Keluar (kg/batch)	
Dari pasteurizer M220		Ke tangki penampung F231	
Susu cair:	7.003,73	Susu pekat:	1.995,29
Lemak	273,15	Lemak	273,15
Protein	238,13	Protein	238,13
Laktosa	336,18	Laktosa	336,18
Abu	50,43	Abu	50,43
Air	6.105,86	Air	1.097,41
		Air yang diuapkan	5.008,45
Jumlah	7.003,73	Jumlah	7.003,73

4. Tangki Penampung



Susu pekat yang masuk = susu pekat yang keluar

Susu pekat:

Lemak = 273,15 kg/batch

Protein = 238,13 kg/batch

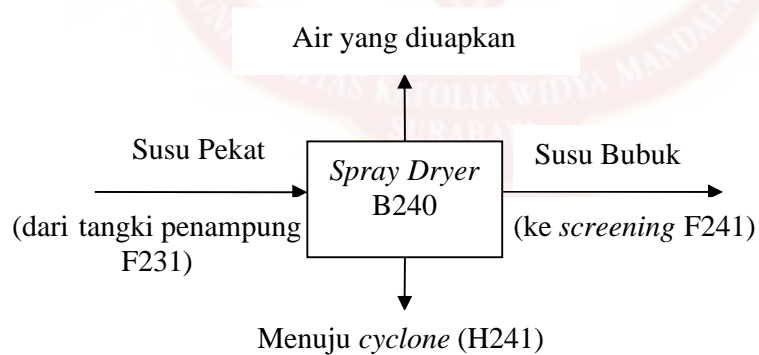
Laktosa=336,18 kg/batch

Abu=50,43 kg/batch

Air=1.097,41 kg/batch

Masuk (kg/batch)		Keluar (kg/batch)	
Dari evaporator F230		Ke spray dryer B240	
Susu pekat:	1.995,29	Susu pekat:	1.995,29
Lemak	273,15	Lemak	273,15
Protein	238,13	Protein	238,13
Laktosa	336,18	Laktosa	336,18
Abu	50,43	Abu	50,43
Air	1.097,41	Air	1.097,41
Jumlah	1.995,29	Jumlah	1.995,29

5. Proses *Spray Dryer*



Pada proses *spray dryer* berlangsung secara kontinyu. Proses ini berhubungan dengan evaporasi yang berlangsung selama 2,5 jam setiap batch sehingga untuk tiap jam *spray dryer* didapatkan dengan cara bahan yang masuk dibagi dengan 2,5 jam. Berikut contoh perhitungannya:

Komponen Masuk:

Susu pekat:

$$\text{Lemak} = 273,15 \frac{\text{kg}}{\text{batch}} / 2,5 \frac{\text{jam}}{\text{batch}} = 109,26 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

Dengan cara yang sama, maka didapatkan:

Protein=95,25 kg/jam

Laktosa=134,47 kg/jam

Abu=20,17 kg/jam

Air=438,96 kg/jam

Komponen Keluar:

✓ Menuju *cyclone*

- Material yang terikut dalam udara panas (*cyclone*) diasumsi sebesar 1%. Berikut ini perincian perhitungannya:

Susu bubuk:

$$\text{Lemak} = 1\% \times 109,26 \text{ kg/jam} = 1,09 \text{ kg/jam}$$

Dengan cara yang sama, maka didapatkan:

Protein=0,95 kg/jam

Laktosa=1,34 kg/jam

Abu=0,20 kg/jam

Jumlah material yang terikat adalah 3,59 kg/jam

✓ Menuju tangki penampung

Susu bubuk:

Lemak=lemak yang masuk – lemak yang menuju *cyclone*

$$=109,26 \text{ kg/jam} - 1,09 \text{ kg/jam}$$

$$=108,17 \text{ kg/jam}$$

Komponen yang lain dicari dengan cara yang sama, sehingga didapatkan:

$$\text{Protein}=94,30 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Laktosa}=133,13 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Abu}=19,97 \text{ kg/jam}$$

Kandungan air keluar dari *spray dryer* adalah 3% [15].

Massa susu pekat masuk=798,11 kg/jam dengan perincian:

$$\text{- Air}=438,96 \text{ kg/jam}$$

$$\text{- Solid}=798,11 \text{ kg/jam} - 438,96 \text{ kg/jam} = 359,15 \text{ kg/jam}$$

Kandungan air dalam susu bubuk (x) [15]:

$$\frac{x}{\text{massa susu pekat} - (\text{massa air dalam susu pekat} - x)} = 3\%$$

$$x = 11,11 \text{ kg/jam}$$

✓ Air yang diuapkan=air yang masuk – air yang terdapat pada susu bubuk

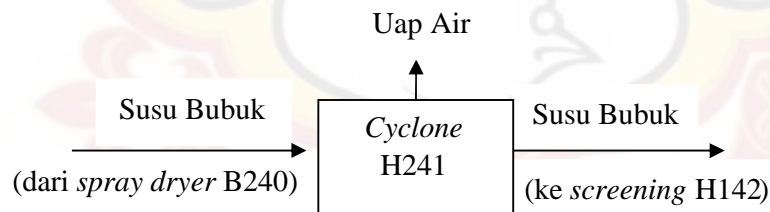
$$=438,96 \text{ kg/jam} - 11,11 \text{ kg/jam}$$

$$=427,86 \text{ kg/jam}$$

Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
Dari tangki penampung F231		Ke <i>screening</i> H142	
		Susu bubuk:	366,67

Susu pekat:	798,11	Lemak	108,17
Lemak	109,26	Protein	94,30
Protein	95,25	Laktosa	133,13
Laktosa	134,47	Abu	19,97
Abu	20,17	Air	11,11
Air	438,96	Ke cyclone H241	3,59
		Lemak	1,09
		Protein	0,95
		Laktosa	1,34
		Abu	0,20
		Air yang diuapkan	427,86
Jumlah	798,11	Jumlah	798,11

6. Proses Cyclone



Susu bubuk yang masuk ke *cyclone*=susu bubuk yang keluar ke *cyclone*=3,59 kg/jam

Uap air yang masuk=uap air keluar dari *spray dryer*=427,86 kg/jam

Kandungan air dalam susu bubuk haruslah 3% agar mencegah tumbuhnya jamur.

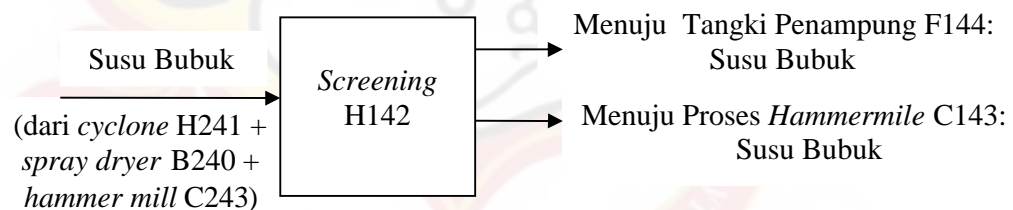
$$\frac{\text{massa air}}{\text{massa air} + \text{massa laktosa} + \text{massa lemak} + \text{massa protein} + \text{massa abu}} = 3\%$$

$$\frac{\text{massa air}}{\text{massa air} + 3,59} = 3\%$$

Massa air = 0,11 kg/jam

Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
Dari <i>spray dryer</i> B240		Ke <i>screening</i> H142	
Susu bubuk:	3,59	Susu bubuk:	3,70
Lemak	1,09	Lemak	1,09
Protein	0,95	Protein	0,95
Laktosa	1,34	Laktosa	1,34
Abu	0,20	Abu	0,20
Air yang diuapkan	427,86	Ke <i>condenser</i>	
		Air yang diuapkan	427,86
Jumlah	404,48	Jumlah	404,48

7. Proses *Screening*



Komponen Masuk:

- ✓ Susu bubuk dari *spray dryer* B240:

Lemak=108,17 kg/jam

Protein=94,30 kg/jam

Laktosa=133,13 kg/jam

Abu=19,97 kg/jam

Air=11,11 kg/jam

✓ Susu bubuk dari *cyclone* H241

Lemak=1,09 kg/jam

Protein=0,95 kg/jam

Laktosa=1,34 kg/jam

Abu=0,20 kg/jam

Air=0,11 kg/jam

• Susu bubuk dari *hammermill* C243 (*recycle*):

Oversize pada proses *hammer mill* diasumsi sebesar 5%.

Susu bubuk:

$$\begin{aligned} \text{- Lemak} &= \frac{5\%}{95\%} \times (\text{lemak yang masuk dari } \textit{spray dryer} + \text{lemak yang masuk dari } \textit{cyclone}) \\ &= \frac{5\%}{95\%} \times 109,26 \text{ kg/jam} \\ &= 5,75 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Komponen yang lain dicari dengan cara yang sama, sehingga didapatkan:

- Protein=5,01 kg/jam

- Laktosa=7,08 kg/jam

- Abu=1,06 kg/jam

- Air=0,59 kg/jam

Komponen Keluar:

✓ Menuju tangki penampung

Susu bubuk

- Lemak=109,26 kg/jam

Komponen yang lain dicari dengan cara yang sama, sehingga didapatkan:

- Protein=95,25 kg/jam

- Laktosa=134,47 kg/jam

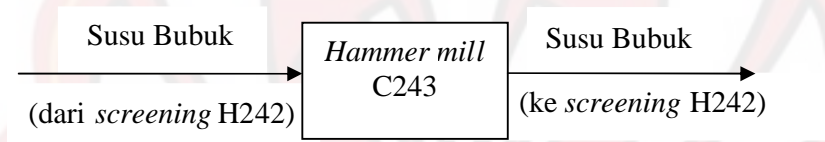
- Abu=20,17 kg/jam

- Air=11,22 kg/jam

Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
Dari <i>spray dryer</i> B240		Ke tangki penampung F244	
Susu bubuk:	366,67	Susu bubuk:	370,37
Lemak	108,17	Lemak	109,26
Protein	94,30	Protein	95,25
Laktosa	133,13	Laktosa	134,47
Abu	19,97	Abu	20,17
Air	11,11	Air	11,22
Dari <i>cyclone</i> H241		Ke <i>hammer mill</i> C243	
Susu bubuk:	3,70	Susu bubuk:	19,49
Lemak	1,09	Lemak	5,75
Protein	0,95	Protein	5,01
Laktosa	1,34	Laktosa	7,08
Abu	0,20	Abu	1,06
Air	0,11	Air	0,59
Ke <i>hammer mill</i> C243			
Susu bubuk:	19,49		
Lemak	5,75		

Protein	5,01		
Laktosa	7,08		
Abu	1,06		
Air	0,59		
Jumlah	389,86	Jumlah	389,86

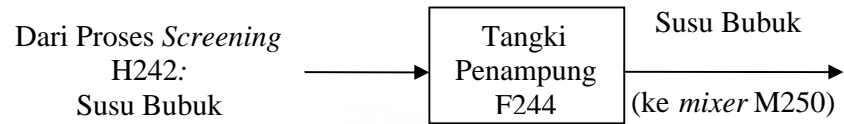
8. Proses *Hammer mill*



Susu bubuk yang masuk=susu bubuk yang keluar=19,49 kg/jam

Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
Dari screening H242		Ke screening H242	
Susu bubuk:	19,49	Susu bubuk:	19,49
Lemak	5,75	Lemak	5,75
Protein	5,01	Protein	5,01
Laktosa	7,08	Laktosa	7,08
Abu	1,06	Abu	1,06
Air	0,59	Air	0,59
Jumlah	19,49	Jumlah	19,49

9. Tangki Penampung



Susu bubuk yang masuk proses *screening*=susu bubuk yang keluar dari proses *screening*.

Dari proses *screening*

Susu bubuk:

- Lemak=109,26 kg/jam
- Protein=95,25 kg/jam
- Laktosa=134,47 kg/jam
- Abu=20,17 kg/jam
- Air=11,22 kg/jam

Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
Dari screening H142		Ke mixer M250	
Susu bubuk:	370,37	Susu bubuk:	370,37
Lemak	109,26	Lemak	109,26
Protein	95,25	Protein	95,25
Laktosa	134,47	Laktosa	134,47
Abu	20,17	Abu	20,17
Air	11,22	Air	11,22
Jumlah	370,37	Jumlah	370,37

Pembuatan Mutiara Bubuk :

Pembuatan mutiara bubuk dengan basis 2.855,84 kg/hari Berdasarkan literatur, dengan massa bahan-bahan sebesar 316,18 kg/batch, maka akan didapatkan hasil akhir produk sebesar 87,96 kg/jam [18].

Bahan-bahan yang dibutuhkan untuk membuat mutiara adalah caramel, air dan *tapioca starch*.

Berikut ini adalah perbandingannya secara berurutan 3:1:3. Perbandingan ini dilakukan berdasarkan penelitian pendahuluan.

1. Proses *Mixing* Air dan *Tapioca Starch*



Air dan *tapioca starch* yang masuk=*tapioca starch* yang keluar

Proses batch ini berlangsung pada 1 alat.

Komponen Masuk:

- Air yang masuk = $\frac{1}{7} \times 2.855,84 \frac{\text{kg}}{\text{batch}} \times \frac{1}{9} = 45,33 \frac{\text{kg}}{\text{batch}}$
- *Tapioca starch* yang masuk dari tangki penampung *tapioca starch* F330:

Tapioca starch memiliki komposisi pati 88,2%, air 9,1%, abu 0,26%, protein 1,1% dan lemak 0,5%.

Tapioca starch yang masuk:

- Karbohidrat = $88,2\% \times \frac{3}{7} \times 2.855,84 \frac{\text{kg}}{\text{batch}} \times \frac{1}{9} = 119,95 \frac{\text{kg}}{\text{batch}}$

- Air = $9,1\% \times \frac{3}{7} \times 2.855,84 \frac{\text{kg}}{\text{batch}} \times \frac{1}{9} = 12,38 \frac{\text{kg}}{\text{batch}}$
- Abu = $0,26\% \times \frac{3}{7} \times 2.855,84 \frac{\text{kg}}{\text{batch}} \times \frac{1}{9} = 0,35 \frac{\text{kg}}{\text{batch}}$
- Protein = $1,1\% \times \frac{3}{7} \times 2.855,84 \frac{\text{kg}}{\text{batch}} \times \frac{1}{9} = 1,49 \frac{\text{kg}}{\text{batch}}$
- Lemak = $0,5\% \times \frac{3}{7} \times 2.855,84 \frac{\text{kg}}{\text{batch}} \times \frac{1}{9} = 0,68 \frac{\text{kg}}{\text{batch}}$

Komponen Keluar:

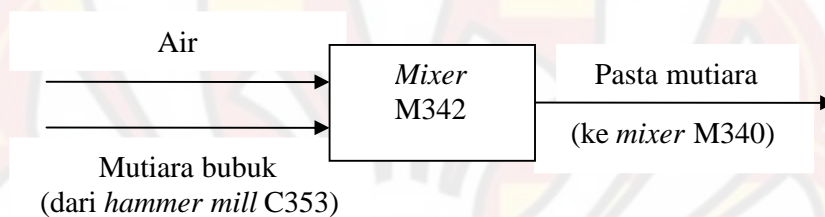
Tapioca starch

- Karbohidrat = karbohidrat dari *tapioca starch* yang masuk = 119,95 kg/batch
- Air = air yang masuk (F320) + air dari *tapioca starch* (F330)
 $= 45,33 \text{ kg/batch} + 12,38 \text{ kg/batch}$
 $= 57,71 \text{ kg/batch}$
- Abu = abu dari *tapioca starch* yang masuk = 0,35 kg/batch
- Protein = protein dari *tapioca starch* yang masuk = 1,50 kg/batch
- Lemak = lemak dari *tapioca starch* yang masuk = 0,68 kg/batch

Masuk (kg/batch)		Keluar (kg/batch)	
Air	45,33	Ke mixer M360	
Dari storage F330		<i>Tapioca starch:</i>	180,18
<i>Tapioca starch:</i>	134,85	Karbohidrat	119,95
Karbohidrat	119,95	Air	57,71
Air	12,38	Abu	0,35
Abu	0,35	Protein	1,50
Protein	1,50	Lemak	0,68

Lemak	0,68		
Jumlah	180,18	Jumlah	180,18

2. Proses *Mixing* M342



Mutiara bubuk yang masuk berasal dari *recycle* pada proses *hammermill* (C353). Pada proses ini ditambahkan air agar dapat mencukupi kebutuhan air yang menguap pada proses *spray dryer*.

Komponen Masuk:

Mutiara bubuk yang masuk pada proses *hammermill* (C353):

- Gula pasir=2,04 kg/jam x 2,5 jam/batch=5,10 kg/batch
- Karbohidrat=2,40 kg/jam x 2,5 jam/batch=6,00 kg/batch
- Air=0,14 kg/jam x 2,5 jam/batch=0,35 kg/batch
- Abu=0,01 kg/jam x 2,5 jam/batch=0,02 kg/batch
- Protein=0,03 kg/jam x 2,5 jam/batch=0,07 kg/batch
- Lemak=0,01 kg/jam x 2,5 jam/batch=0,03 kg/batch

Air yang ditambahkan sebesar 4,24 kg/batch berasal dari 5% uap air.

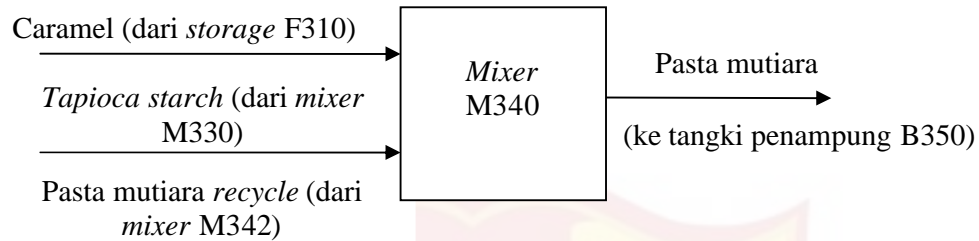
Komponen Keluar:

Mutiara cair:

- Gula pasir=5,10 kg/batch
- Karbohidrat =6,00 kg/batch
- Air=air yang ditambahkan+air dari mutiara bubuk pada proses *hammermill (recycle)*
 =4,24 kg/batch + 0,35 kg/batch
 =4,59 kg/batch
- Abu=0,02 kg/batch
- Protein=0,07 kg/batch
- Lemak=0,03 kg/batch

Masuk (kg/batch)		Keluar (kg/batch)	
Dari <i>hammermill</i> C353 (recycle)		Ke <i>mixer</i> M340	
Mutiara bubuk:	11,57	Pasta mutiara:	15,81
Gula pasir	5,10	Gula pasir	5,10
Karbohidrat	6,00	Karbohidrat	6,00
Air	0,35	Air	4,59
Abu	0,02	Abu	0,02
Protein	0,07	Protein	0,07
Lemak	0,03	Lemak	0,03
Air	4,24		
Jumlah	15,81	Jumlah	15,81

3. Proses *Mixing* Caramel



Caramel terdiri dari gula pasir dan air, masing-masing perbandingannya adalah 3:1.

Perbandingan ini didapatkan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan.

1 hari ada 24 jam, proses ini berjalan selama 2,5 jam sehingga proses ini dapat berjalan sebanyak 9 kali dalam sehari. Proses batch ini dilakukan dalam 1 alat. Pada proses ini, *hammer mill* yang masuk memiliki komponen 5% dari total sehingga untuk caramel dan *tapioca starch* yang masuk memiliki komponen 95% dari total.

Komponen Masuk:

Caramel yang masuk dari tangki penampung F310:

- Gula pasir = $\frac{3}{4} \times \frac{3}{7} \times 2.855,84 \frac{\text{kg}}{\text{batch}} \times \frac{1}{9} \times 95\% = 96,89 \frac{\text{kg}}{\text{batch}}$
- Air = $\frac{1}{4} \times \frac{3}{7} \times 2.855,84 \frac{\text{kg}}{\text{batch}} \times \frac{1}{9} \times 95\% = 32,30 \frac{\text{kg}}{\text{batch}}$

Tapioca starch dari *mixer* M330:

- Karbohidrat = $119,95 \text{ kg/batch} \times 95\% = 113,95 \text{ kg/batch}$
- Air = $57,71 \text{ kg/batch} \times 95\% = 54,82 \text{ kg/batch}$
- Abu = $0,35 \text{ kg/batch} \times 95\% = 0,34 \text{ kg/batch}$
- Protein = $121,17 \text{ kg/batch} \times 95\% = 1,42 \text{ kg/batch}$
- Lemak = $55,08 \text{ kg/batch} \times 95\% = 0,65 \text{ kg/batch}$

Mutiara bubuk yang masuk dari *mixer* M310:

Mutiara cair:

- Gula pasir=5,10 kg/batch
- Karbohidrat =6,00 kg/batch
- Air=4,59 kg/batch
- Abu=0,02 kg/batch
- Protein=0,07 kg/batch
- Lemak=0,03 kg/batch

Komponen Keluar:

Pasta mutiara:

- Gula pasir=gula pasir dari caramel + gula pasir dari *mixer*
=96,89 kg/batch + 5,10 kg/batch =101,99 kg/batch

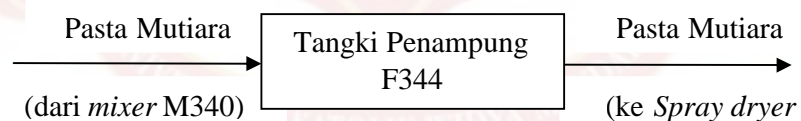
Dengan cara yang sama, maka untuk komponen lainnya didapatkan:

- Karbohidrat =119,95 kg/batch
- Air=91,70 kg/batch
- Abu=0,35 kg/batch
- Protein=1,50 kg/batch
- Lemak=0,68 kg/batch

Masuk (kg/batch)		Keluar (kg/batch)	
Dari storage F310		Ke tangki penampung F344	
Caramel:	129,19	Pasta mutiara:	316,18
Gula pasir	96,89	Gula pasir	101,99
Air	32,30	Karbohidrat	

Dari mixer M330		Air	119,95
Tapioca starch:	171,17	Abu	91,70
Karbohidrat	113,95	Protein	0,35
Air	54,82	Lemak	1,50
Abu	0,34		0,68
Protein	1,42		
Lemak	0,65		
Dari mixer M310			
Pasta mutiara:	15,81		
Gula pasir	5,10		
Karbohidrat	6,00		
Air	4,59		
Abu	0,02		
Protein	0,07		
Lemak	0,03		
Jumlah	316,18	Jumlah	316,18

4. Tangki Penampung

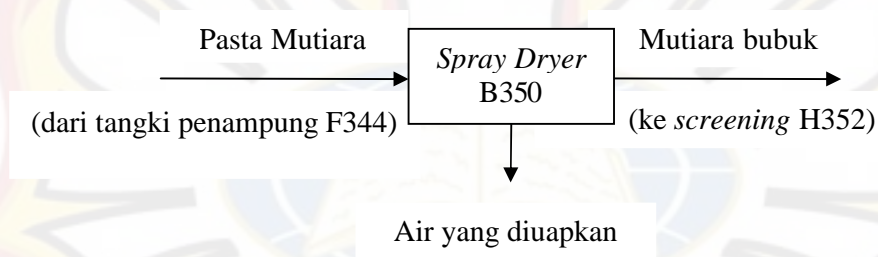


Pasta mutiara yang masuk tangki penampung = pasta mutiara yang keluar dari mixer M340

Masuk (kg/batch)		Keluar (kg/batch)	
Dari mixer M340		Ke tangki penampung F344	
Pasta mutiara:	316,18		

Gula pasir	101,99	Pasta mutiara:	316,18
Karbohidrat	119,95	Gula pasir	101,99
Air	91,70	Karbohidrat	119,95
Abu	0,35	Air	91,70
Protein	1,50	Abu	0,35
Lemak	0,68	Protein	1,50
		Lemak	0,68
Jumlah	316,18	Jumlah	316,18

5. Proses *Spray Dryer*



Pada proses *spray dryer* berlangsung secara kontinyu. Proses ini berhubungan dengan *mixer* M340 yang berlangsung selama 2,5 jam setiap batch sehingga untuk tiap jam *spray dryer* didapatkan dengan cara bahan yang masuk dibagi dengan 2,5 jam. Berikut contoh perhitungannya:

Komponen Masuk:

Pasta mutiara:

$$\text{- Gula pasir} = 101,99 \frac{\text{kg}}{\text{batch}} / 2,5 \frac{\text{jam}}{\text{batch}} = 40,80 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

Dengan cara yang sama, maka untuk komponen lainnya didapatkan:

$$\text{- Karbohidrat} = 47,98 \text{ kg/jam}$$

$$\text{- Air} = 36,68 \text{ kg/jam}$$

- Abu=0,14 kg/jam
- Protein=0,60 kg/jam
- Lemak=0,27 kg/jam

Komponen Keluar:

✓ Mutiara bubuk menuju proses *screening* H352:

- Gula pasir=gula pasir yang masuk=40,80 kg/jam

Dengan cara yang sama, didapatkan:

- Karbohidrat=47,98 kg/jam
- Abu=0,14 kg/jam
- Protein=0,60 kg/jam
- Lemak=0,27 kg/jam

- Air:

Massa mutiara yang masuk=126,47 kg/jam dengan perincian:

- Air=36,68 kg/jam
- Solid=126,47 kg/jam – 36,68 kg/jam=89,79 kg/jam

Kandungan air dalam mutiara bubuk (x) [15]:

$$\frac{x}{\text{massa mutiara} - (\text{massa air dalam mutiara} - x)} = 3\%$$

$$x = 2,78 \text{ kg/jam}$$

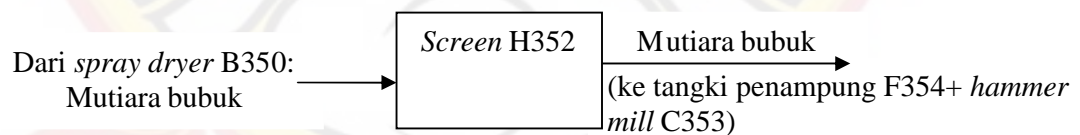
✓ Air yang diuapkan=air yang masuk – air yang terdapat pada mutiara bubuk

$$=36,68 \text{ kg/jam} - 2,78 \text{ kg/jam}$$

$$=33,90 \text{ kg/jam}$$

Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
Dari <i>mixer</i> M340		Ke <i>screen</i> H352	
Pasta mutiara:	126,47	Mutiara bubuk:	91,67
Gula pasir	40,80	Gula pasir	40,80
Karbohidrat	47,98	Karbohidrat	47,98
Air	36,68	Air	2,78
Abu	0,14	Abu	0,14
Protein	0,60	Protein	0,60
Lemak	0,27	Lemak	0,27
		Air yang diuapkan	33,90
Jumlah	126,47	Jumlah	126,47

6. *Screen*



Komponen Masuk:

Dari *spray dryer* B350:

Mutiara bubuk:

- Gula pasir=40,80 kg/jam
- Karbohidrat=47,98 kg/jam
- Air=2,78 kg/jam
- Abu=0,14 kg/jam

- Protein=0,60 kg/jam
- Lemak=0,27 kg/jam

Komponen Keluar:

Ke tangki penampung F354

- ✓ Oversize pada proses *hammer mill* diasumsi sebesar 5%.

Berikut ini perhitungan menuju ke proses *hammer mill*:

Mutiara bubuk:

- Gula pasir=5% x gula yang masuk dari *spray dryer*
 $=5\% \times 40,80 \text{ kg/jam} = 2,04 \text{ kg/jam}$

Dengan cara yang sama, didapatkan:

- Karbohidrat=2,40 kg/jam
- Air=0,14 kg/jam
- Abu=0,01 kg/jam
- Protein=0,03 kg/jam
- Lemak=0,01 kg/jam

- ✓ Menuju tangki penampung

Mutiara bubuk

- Gula pasir=gula pasir yang masuk – gula pasir yang menuju *hammer mill*
 $=40,80 \text{ kg/jam} - 2,04 \text{ kg/jam}$
 $=38,76 \text{ kg/jam}$

Komponen yang lain dicari dengan cara yang sama, sehingga didapatkan:

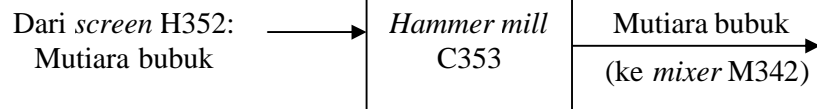
- Karbohidrat=45,58 kg/jam
- Air=2,64 kg/jam
- Abu=0,13 kg/jam

- Protein=0,57 kg/jam

- Lemak=0,26 kg/jam

Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
Dari <i>spray dryer</i> B350		Ke tangki penampung F354	
Mutiara bubuk:	92,56	Mutiara bubuk:	87,94
Gula pasir	40,80	Gula pasir	38,76
Karbohidrat	47,98	Karbohidrat	45,58
Air	2,78	Air	2,64
Abu	0,14	Abu	0,13
Protein	0,60	Protein	0,57
Lemak	0,27	Lemak	0,26
		Ke <i>hammer mill</i> C353	
		Mutiara bubuk:	4,63
		Gula pasir	2,04
		Karbohidrat	2,40
		Air	0,14
		Abu	0,01
		Protein	0,03
		Lemak	0,01
Jumlah	92,56	Jumlah	92,56

7. *Hammer mill*



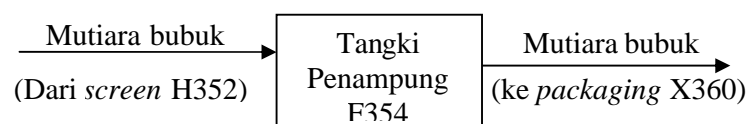
Mutiara yang masuk=mutiara yang keluar

Mutiara yang masuk:

- Gula pasir=2,04 kg/jam
- Karbohidrat=2,40 kg/jam
- Air=0,14 kg/jam
- Abu=0,01 kg/jam
- Protein=0,03 kg/jam
- Lemak=0,01 kg/jam

Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
Dari screen H352		Ke mixer M342	
Mutiara bubuk:	4,63	Mutiara bubuk:	4,63
Gula pasir	2,04	Gula pasir	2,04
Karbohidrat	2,40	Karbohidrat	2,40
Air	0,14	Air	0,14
Abu	0,01	Abu	0,01
Protein	0,03	Protein	0,03
Lemak	0,01	Lemak	0,01
Jumlah	4,63	Jumlah	4,63

8. Tangki Penampung



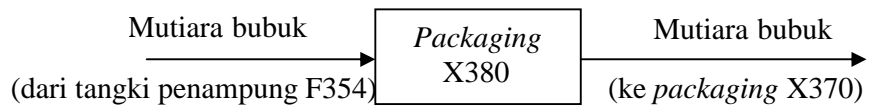
Mutiara yang masuk=mutiara yang keluar

Mutiara bubuk

- Gula pasir=38,76 kg/jam
- Karbohidrat=45,58 kg/jam
- Air=2,64 kg/jam
- Abu=0,13 kg/jam
- Protein=0,57 kg/jam
- Lemak=0,26 kg/jam

Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
Dari screen H352		Ke packaging X360	
Mutiara bubuk:	87,94	Mutiara bubuk:	87,94
Gula pasir	38,76	Gula pasir	38,76
Karbohidrat	45,58	Karbohidrat	45,58
Air	2,64	Air	2,64
Abu	0,13	Abu	0,13
Protein	0,57	Protein	0,57
Lemak	0,26	Lemak	0,26
Jumlah	87,94	Jumlah	87,94

9. Proses Packaging



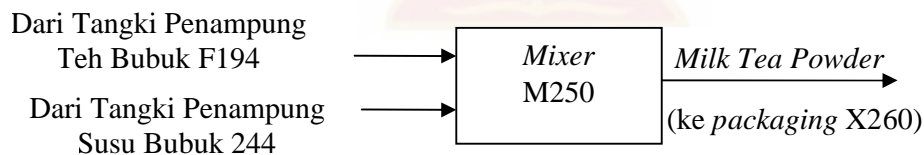
Asumsi: tidak terjadi perubahan komponen selama proses *packaging*

Mutiara yang masuk=mutiara yang keluar=87,94 kg/jam

Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
Dari tangki panampung F354		Ke packaging X370	
Mutiara bubuk:	87,94	Mutiara bubuk:	87,94
Gula pasir	38,76	Gula pasir	38,76
Karbohidrat	45,58	Karbohidrat	45,58
Air	2,64	Air	2,64
Abu	0,13	Abu	0,13
Protein	0,57	Protein	0,57
Lemak	0,26	Lemak	0,26
Jumlah	87,94	Jumlah	87,94

Pembuatan *Bubble Tea Instant*

Proses *mixing milk tea powder*



Teh bubuk dan susu bubuk yang masuk=*milk tea powder* yang keluar

✓ Teh masuk dari tangki penampung F194:

- *Caffeine*=1,16 kg/jam
- *Catechin*=8,03 kg/jam
- Komponen lain:
Protein=1,66 kg/jam
Abu=0,55 kg/jam
Lemak=0,33 kg/jam
Karbohidrat=2,77 kg/jam
Trace=1,07 kg/jam
- Air=13,49 kg/jam
- Aren solid=236,53 kg/jam
- Dekstrin=104,77 kg/jam

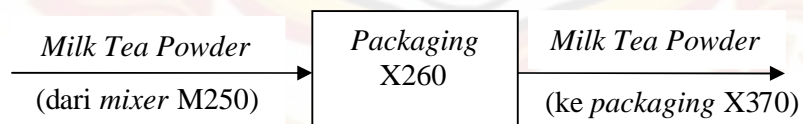
✓ Susu masuk dari tangki penampung F244:

- Lemak=109,26 kg/jam
- Protein=95,25 kg/jam
- Laktosa=134,47 kg/jam
- Abu=20,17 kg/jam
- Air=11,22 kg/jam

Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
Dari tangki penampung F194		Ke packaging X260	
Teh bubuk:	370,37	Teh bubuk:	370,37
<i>Caffeine</i>	1,16	<i>Caffeine</i>	1,16
<i>Catechin</i>	8,03	<i>Catechin</i>	8,03
<i>Catechin</i>	1,66	<i>Catechin</i>	1,66
Komponen lain:	0,55	Komponen lain:	0,55
	0,33		0,33

Protein	2,77	Protein	2,77
Abu	1,07	Abu	1,07
Lemak	13,49	Lemak	13,49
Karbohidrat	236,53	Lemak	236,53
	104,77	Karbohidrat	104,77
			370,37
<i>Trace</i>	370,37	<i>Trace</i>	109,26
Air	109,26	Air	95,25
	95,25	Aren solid	134,47
Aren solid	134,47		20,17
Dextrin	20,17	Dextrin	11,22
	11,22		
Dari tangki penampung F244		Susu bubuk:	
Susu bubuk:		Lemak	
Lemak		Protein	
Protein		Laktosa	
Laktosa		Abu	
Abu		Air	
Air			
Jumlah	740,74	Jumlah	740,74

Proses *Packaging Milk Tea Powder*

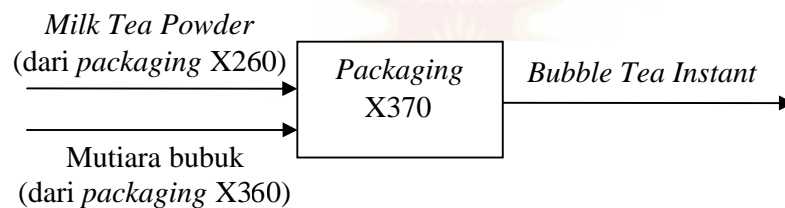


Milk tea powder yang masuk proses *packaging*=*milk tea powder* yang keluar proses *packaging*.

Masuk (kg/hari)		Keluar (kg/hari)	
Dari mixer M250		Ke packaging	

Teh bubuk:	370,37	X370	370,37
<i>Caffeine</i>	1,16	<i>Caffeine</i>	1,16
<i>Catechin</i>	8,03	<i>Catechin</i>	8,03
	1,66		1,66
Komponen lain:	0,55	Komponen lain:	0,55
Protein	0,33	Protein	0,33
Abu	2,77	Abu	2,77
	1,07		1,07
Lemak	13,49	Lemak	13,49
	236,53		236,53
Karbohidrat	104,77	Karbohidrat	104,77
	370,37		370,37
<i>Trace</i>	109,26	<i>Trace</i>	109,26
Air	95,25	Air	95,25
	134,47		134,47
Aren solid	20,17	Aren solid	20,17
	11,22		11,22
Dextrin		Dextrin	
Susu bubuk:		Susu bubuk:	
Lemak		Lemak	
Protein		Protein	
Laktosa		Laktosa	
Abu		Abu	
Air		Air	
Jumlah	740,74	Jumlah	740,74

Proses Packaging Bubble Tea Instant



Masuk (kg/hari)		Keluar (kg/hari)	
Dari packaging X260		Teh bubuk:	370,37
Teh bubuk:			1,16
	370,37	<i>Caffeine</i>	8,03
<i>Caffeine</i>	1,16	<i>Catechin</i>	1,66
	8,03		0,55
<i>Catechin</i>		Komponen lain:	0,33
	1,66		2,77
Komponen lain:	0,55	Protein	1,07
	0,33	Abu	13,49
Protein	2,77		236,53
	1,07	Lemak	104,77
Abu	13,49		370,37
	236,53	Karbohidrat	109,26
Lemak	104,77		95,25
	370,37	<i>Trace</i>	134,47
Karbohidrat	109,26	Air	20,17
	95,25		11,22
<i>Trace</i>	134,47	Aren solid	
Air	20,17		87,94
Aren solid	11,22	Dextrin	
			38,76
Dextrin		Susu bubuk:	
			45,58
Susu bubuk:		Lemak	
	87,94		2,64
Lemak		Protein	
	38,76		0,13
Protein		Laktosa	
	45,58		0,57
Laktosa		Abu	
	2,64		0,26
Abu		Air	
	0,13	Mutiara bubuk:	
Air	0,57	Gula pasir	
Dari packaging X360			
Mutiara bubuk:		Karbohidrat	
	0,26		
Gula pasir		Air	
Karbohidrat		Abu	
Air		Protein	
Abu		Lemak	

Protein			
Lemak			
Jumlah	828,68	Jumlah	828,68



APPENDIX B

PERHITUNGAN NERACA PANAS

Asumsi:

- 1 tahun = 300 hari
- Waktu = batch/hari
- Kapasitas produksi “*Bubbletea Instant*” dalam 1 tahun = 5.968 kg/tahun

Basis perhitungan:

- Teh = 100,64 kg
- Susu = 7.010,75 kg
- Mutiara = 316,18 kg

Satuan panas = kJ

Suhu referensi 25°C

Cp sukrosa = 0,300 kcal/kg C [19]

Menurut Himmelblau ed 5th hal 384 [20] :

C = 1,8 cal/(g atom) (°C)

H=2,3 cal/(g atom) (°C)

O = 4,0 cal/(g atom) (°C)

All others = 6,2 cal/(g atom) (°C)

Dari data diatas, dengan menggunakan Kopp's Rule, dapat dicari harga Cp untuk *catechin* dan *caffeine*.

Perhitungan Cp untuk teh bubuk:

Dari data tersebut dapat dihitung C_p dari komponen berikut:

1. *Catechine* ($C_{22}H_{18}O_{11}$)

$$C_p = 22 \times 1,8 \text{ cal/(g atom)}(^{\circ}\text{C}) + 18 \times 2,3 \text{ cal/(g atom)}(^{\circ}\text{C}) + 11 \times 4 \text{ cal/(g atom)}(^{\circ}\text{C})$$
$$= 125 \text{ cal/gmol}^{\circ}\text{C} = 0,2729 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C} = 1,1418 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

2. *Cafeine* ($C_8H_{10}O_2N_4$)

$$C_p = 8 \times 1,8 \text{ cal/(g atom)}(^{\circ}\text{C}) + 10 \times 2,3 \text{ cal/(g atom)}(^{\circ}\text{C}) + 2 \times 4 \text{ cal/(g atom)}(^{\circ}\text{C}) + 4 \times 6,2$$
$$\text{cal/(g atom)}(^{\circ}\text{C})$$
$$= 70,2 \text{ cal/gmol}^{\circ}\text{C} = 0,3619 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C} = 1,5142 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

3. Komponen lain (protein, abu, lemak, karbohidrat, trace) (kJ/kg)

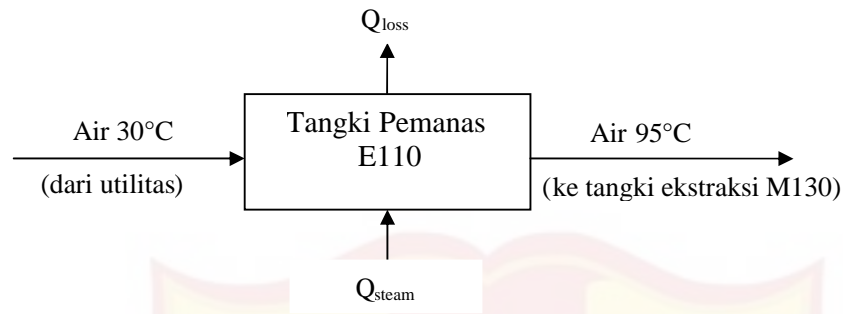
- a. $C_p \text{ protein} = 2,0082 + (1,2089 \times 10^{-3}T) - (1,3129 \times 10^{-6}T^2)$
- b. $C_p \text{ abu} = 1,0926 + (1,8896 \times 10^{-3}T) - (3,6817 \times 10^{-6}T^2)$
- c. $C_p \text{ lemak} = 1,9842 + (1,4733 \times 10^{-3}T) - (4,8008 \times 10^{-6}T^2)$
- d. $C_p \text{ karbohidrat} = 1,5488 + (1,9625 \times 10^{-3}T) - (5,2399 \times 10^{-6}T^2)$
- e. $C_p \text{ trace} = 1,8459 + (1,8306 \times 10^{-3}T) - (4,6509 \times 10^{-6}T^2)$

4. Air (H_2O)

$$C_p = (4,1762 - 9,0864 \times 10^{-5}T) + 5,4731 \times 10^{-6}T^2 \text{ kJ/kg}$$

Proses pembuatan teh bubuk:

1. Tangki Pemanas E110



Komponen Masuk:

$$\begin{aligned}
 \int_{25}^{30} C_p dT_{\text{air}} &= (4,1762 - 9,0864 \times 10^{-5} T) + 5,4731 \times 10^{-6} T^2 \\
 &= [4,1762 \cdot (30 - 25)] - \left[\frac{9,0864 \cdot 10^{-5}}{2} (30^2 - 25^2) \right] + \left[\frac{5,4731 \cdot 10^{-6}}{3} (30^2 - 25^2) \right] \\
 &= 20,8893 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{air } 30^\circ\text{C}} &= m \cdot \int_{25}^{30} C_p dT_{\text{air}} \\
 &= 3.872,04 \text{ kg} \cdot 20,8893 \text{ kJ/kg} \\
 &= 80.883,95 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Komponen Keluar:

$$\begin{aligned}
 \int_{25}^{95} C_p dT_{\text{air}} &= (4,1762 - 9,0864 \times 10^{-5} T) + 5,4731 \times 10^{-6} T^2 \\
 &= [4,1762 \cdot (95 - 25)] - \left[\frac{9,0864 \cdot 10^{-5}}{2} (95^2 - 25^2) \right] + \left[\frac{5,4731 \cdot 10^{-6}}{3} (95^2 - 25^2) \right] \\
 &= 293,4880 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{air } 95^\circ\text{C}} &= m \cdot \int_{25}^{95} C_p dT_{\text{air}} \\
 &= 3.872,04 \text{ kg} \cdot 293,4880 \text{ kJ/kg} \\
 &= 1.136.396,01 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Asumsi: $Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{steam}}$

$$Q_{\text{masuk air } 30^\circ\text{C}} + Q_{\text{steam}} = Q_{\text{keluar air } 95^\circ\text{C}} + Q_{\text{loss}}$$

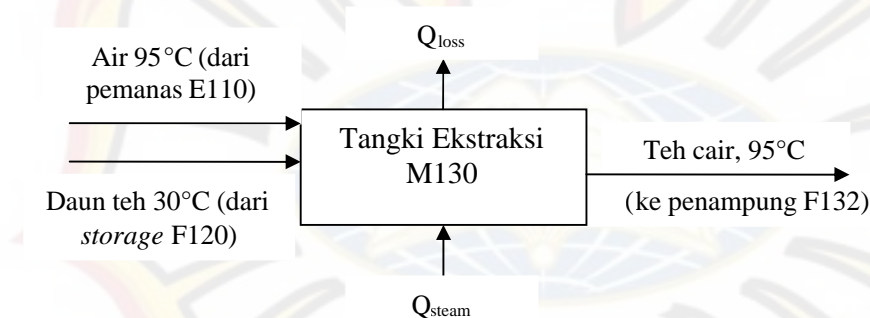
$$80.883,95 \text{ kJ} + Q_{\text{steam}} = 1.136.396,01 \text{ kJ} + 10\% Q_{\text{steam}}$$

$$Q_{\text{steam}} = 1.172.791,19 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{steam}} = 10\% \cdot 1.172.791,19 \text{ kJ} = 117.279,12 \text{ kJ}$$

Masuk (kJ)		Keluar (kJ)	
Dari utilitas:		Ke ekstraksi M130:	
Air	80.883,95	Air	1.136.396,01
Qsteam	1.172.791,19	Qloss	117.279,12
Jumlah	1.253.675,13	Jumlah	1.253.675,13

2. Tangki Ekstraksi M130



Suhu campuran (T_c) masuk didapatkan dari persamaan:

$$Q_{\text{teh}} = Q_{\text{air}}$$

$$m_{\text{teh}} \times C_{p_{\text{teh}}} \times (T_c - T_{\text{teh}}) = m_{\text{air}} \times C_{p_{\text{air}}} \times (T_{\text{air}} - T_c)$$

$$(m_{\text{teh}} \times C_{p_{\text{teh}}} \times T_c) - (m_{\text{teh}} \times C_{p_{\text{teh}}} \times T_{\text{teh}}) - (m_{\text{air}} \times C_{p_{\text{air}}} \times T_{\text{air}}) + (m_{\text{air}} \times C_{p_{\text{air}}} \times T_c) = 0$$

Dari hasil trial T_c , didapatkan harga T_c sebesar $94,39^\circ\text{C}$

Komponen Masuk:

$$Q_{\text{air}} = 1.126.483,18 \text{ kJ (dari pemanas E110)}$$

$Q_{\text{daun teh}}$:

$$T_{\text{masuk}} = 94,39^\circ\text{C}$$

➤ *Cafeine*

$$C_{p \text{ Caffeine}} = 1,5142 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= m \cdot C_{p \text{ Caffeine}} \cdot \Delta T \\ &= 3,62 \text{ kg} \cdot 1,5142 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (94,39-25)^\circ\text{C} \\ &= 27,43 \text{ kJ} \end{aligned}$$

➤ *Catechin*

$$C_{p \text{ Catechin}} = 1,1418 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Q_2 &= m \cdot C_{p \text{ Catechin}} \cdot \Delta T \\ &= 38,98 \text{ kg} \cdot 1,1418 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (94,39-25)^\circ\text{C} \\ &= 222,53 \text{ kJ} \end{aligned}$$

➤ Komponen lain:

Komponen	a	b	c	d
Protein	2,0082	$1,2089 \cdot 10^{-3}$	$1,3129 \cdot 10^{-6}$	-
Abu	1,0926	$1,8896 \cdot 10^{-3}$	$3,6817 \cdot 10^{-6}$	-
Lemak	1,9842	$1,4733 \cdot 10^{-3}$	$4,8008 \cdot 10^{-6}$	-
Karbohidrat	1,5488	$1,9625 \cdot 10^{-3}$	$5,2399 \cdot 10^{-6}$	-
Trace	1,8459	$1,8306 \cdot 10^{-3}$	$4,6509 \cdot 10^{-6}$	-

$$\int_{T_{ref}}^{T_{in}} C_p \, dT = \int_{T_{ref}}^{T_{in}} (a + b \cdot T - c \cdot T^2) \cdot dT$$

$$Q = m \cdot \int_{25}^{94,39} C_p \, dT$$

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Protein	144,0014	15,10	2.173,87
Abu	82,6333	5,03	415,82

Lemak	142,47	3,02	430,16
Karbohidrat	114,1636	25,16	2.872,40
Trace	134,3959	9,73	1.307,94

$$Q_{\text{daun teh}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7$$

$$= (27,43 + 222,53 + 2.173,87 + 415,82 + 430,16 + 2.872,40 + 1.307,94) \text{ kJ}$$

$$= 7.450,15 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{air}} + Q_{\text{daun teh}}$$

$$= (1.126.483,18 + 7.450,15) \text{ kJ}$$

$$= 1.133.933,32 \text{ kJ}$$

Komponen Keluar:

Teh Cair:

~ Daun teh yang terekstrak

➤ *Caffeine*

$$Cp_{\text{Caffeine}} = 1,5142 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$Q_1 = m \cdot Cp_{\text{Caffeine}} \cdot \Delta T$$

$$= 3,23 \text{ kg} \cdot 1,5142 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (95-25)^\circ\text{C}$$

$$= 342,16 \text{ kJ}$$

➤ *Catechin*

$$Cp_{\text{Catechin}} = 1,1418 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$Q_2 = m \cdot Cp_{\text{Catechin}} \cdot \Delta T$$

$$= 22,30 \text{ kg} \cdot 1,1418 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (95-25)^\circ\text{C} = 1.782,02 \text{ kJ}$$

➤ Komponen lain

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Protein	145,2830	4,62	671,13
Abu	83,3853	1,54	128,40
Lemak	143,7348	0,92	132,79
Karbohidrat	115,1883	7,70	886,84
Trace	135,5966	2,98	403,81

➤ $Q_8 = Q_{\text{air}} = Q_{\text{air masuk}} = 1.136.396,01 \text{ kJ}$

$$Q_{\text{ekstrak daun teh}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8$$

$$= (342,16 + 1.782,02 + 671,13 + 128,40 + 132,79 + 886,84 + 403,81 + 1.136.396,01) \text{ kJ}$$

$$= 1.140.743,17 \text{ kJ}$$

~ Ampas daun teh

➤ *Caffeine*

$$Cp_{\text{caffeine}} = 1,5142 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$Q_1 = m \cdot Cp_{\text{Caffeine}} \cdot \Delta T$$

$$= 0,39 \text{ kg} \cdot 1,5142 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (95-25)^\circ\text{C}$$

$$= 41,86 \text{ kJ}$$

➤ *Catechin*

$$Cp_{\text{catechin}} = 1,1418 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$Q_2 = m \cdot Cp_{\text{Catechin}} \cdot \Delta T$$

$$= 16,68 \text{ kg} \cdot 1,1418 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (95-25)^\circ\text{C}$$

$$= 1.333,40 \text{ kJ}$$

➤ Komponen lain

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Protein	145,2830	10,48	1,522,10
Abu	83,3853	3,49	291,20
Lemak	143,7348	2,10	301,18
Karbohidrat	115,1883	17,46	2,011,33
Trace	135,5966	6,75	915,82

$$Q_{\text{ampas daun teh}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7$$

$$= (41,86 + 1.333,40 + 1.522,10 + 291,20 + 301,18 + 2.011,33 + 915,82) \text{ kJ}$$

$$= 6.416,89 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{keluar}} = Q_{\text{ekstrak daun teh}} + Q_{\text{ampas daun teh}}$$

$$= (1.140.743,17 + 6.416,89) \text{ kJ}$$

$$= 1.147.160,06 \text{ kJ}$$

$$\text{Asumsi: } Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{steam}}$$

$$Q_{\text{masuk}} + Q_{\text{steam}} = Q_{\text{keluar}} + Q_{\text{loss}}$$

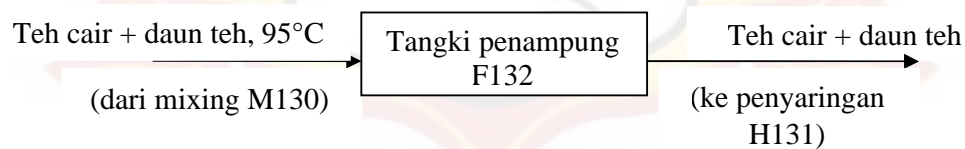
$$1.133.933,32 \text{ kJ} + Q_{\text{steam}} = 1.147.160,06 + 10\% Q_{\text{steam}}$$

$$Q_{\text{steam}} = 14,696,37 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{steam}} = 10\% \cdot 14.696.37 \text{ kJ} = 1.469,64 \text{ kJ}$$

Masuk		Keluar	
Dari tangki pemanas E110		Ke tangki penampung F132	
Air	1.126.483,18	Teh cair	
Dari storage daun teh F120		~ Ekstrak	1.140.743,17
Daun teh	7.450,15	<i>Caffeine</i>	342,16
<i>Caffeine</i>	27,43	<i>Catechin</i>	1.782,02
<i>Catechin</i>	222,53	Komponen lain:	
Komponen lain:		Protein	671,13
Protein	2.173,87	Abu	128,40
Abu	415,82	Lemak	132,79
Lemak	430,16	Karbohidrat	886,84
Karbohidrat	2.872,40	<i>Trace</i>	403,81
<i>Trace</i>	1.307,94	Air	1.136.396,01
Qsteam	14.696,37	~ Ampas	6.416,89
		<i>Caffeine</i>	41,86
		<i>Catechin</i>	1.333,40
		Komponen lain:	
		Protein	1.522,10
		Abu	291,20
		Lemak	301,18
		Karbohidrat	2.011,33
		<i>Trace</i>	915,82
		Qloss	1.469,64
Jumlah	1.148.629,69	Jumlah	1.148.629,69

3. Tangki penampung F132



Komponen Masuk:

$Q_{\text{masuk penampung}} = Q_{\text{keluar dari tangki ekstraksi}} = 1.148.629,69 \text{ kJ}$

Komponen Keluar:

Tout tidak diketahui. Oleh karena itu dicari dengan cara trial. Dari hasil trial didapatkan harga

Tout sebesar 88,036C.

Teh Cair:

~ Daun teh yang terekstrak

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Caffein	95,3932	3,23	308,12
Catechin	71,9609	22,30	1.604,73
Protein	130,6031	4,62	603,31
Abu	74,7864	1,54	115,16
Lemak	129,2571	0,92	119,42
Karbohidrat	103,4567	7,70	796,52
Trace	121,8455	2,98	362,86

$$\Rightarrow Q_8 = Q_{\text{air}} = Q_{\text{air masuk}} = 1.022.765,77 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{ekstrak daun teh}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8$$

$$= (308,12 + 1.604,73 + 603,31 + 115,16 + 119,42 + 796,52 + 362,86) \text{ kJ}$$

$$= 1.026.675,88 \text{ kJ}$$

~ Ampas daun teh

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Caffeine	95,4158	0,39	37,69
Catechin	71,9494	16,68	1.200,74
Protein	130,6031	10,48	1.368,30
Abu	74,7864	3,49	261,17
Lemak	129,2571	2,10	270,84
Karbohidrat	103,4567	17,46	1.806,49
Trace	121,8455	6,75	822,95

$$Q_{\text{ampas daun teh}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7$$

$$= (37,69 + 1.200,74 + 1.368,30 + 261,17 + 270,84 + 1.806,49 + 822,95) \text{ kJ}$$

$$= 5.768,18 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{keluar}} = Q_{\text{ekstrak daun teh}} + Q_{\text{ampas daun teh}}$$

$$= (1.026.675,88 + 5.768,18) \text{ kJ}$$

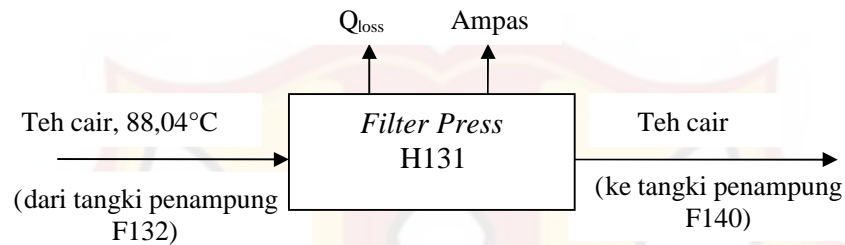
$$= 1.032.444,06 \text{ kJ}$$

$$\text{Asumsi: } Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{in}}$$

$$Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{in}} = 10\% \cdot 1.147.160,06 \text{ kJ} = 114.716,01 \text{ kJ}$$

Masuk		Keluar	
Dari mixer M130		Ke filter press	
Teh cair		H131	
~ Ekstrak	1.140.743,17	Teh cair	
<i>Caffeine</i>	342,16	~ Ekstrak	1.026.675,88
<i>Catechin</i>	1.782,02	<i>Caffeine</i>	308,12
Komponen lain:		<i>Catechin</i>	1.604,73
Protein	671,13	Komponen lain:	
Abu	128,40	Protein	603,31
Lemak	132,79	Abu	115,16
Karbohidrat	886,84	Lemak	119,42
<i>Trace</i>	403,81	Karbohidrat	796,52
Air	1.136.396,01	<i>Trace</i>	362,86
~ Ampas	6.416,89	Air	1.022.765,77
<i>Caffeine</i>	41,86	~ Ampas	5.768,18
<i>Catechin</i>	1.333,40	<i>Caffeine</i>	37,69
Komponen lain:		<i>Catechin</i>	1.200,74
Protein	1.522,10	Komponen lain:	
Abu	291,20	Protein	1.368,30
Lemak	301,18	Abu	261,17
Karbohidrat	2.011,33	Lemak	270,84
<i>Trace</i>	915,82	Karbohidrat	1.806,49
		<i>Trace</i>	822,95
		Qloss	114.716,01
Jumlah	1.147.160,06	Jumlah	1.147.160,06

4. Filter Press H131



Komponen Masuk:

$Q_{\text{masuk filter press}} = Q_{\text{keluar dari tangki penampung}} = 1.147.160,06 \text{ kJ}$

Komponen Keluar:

Tout tidak diketahui. Oleh karena itu dicari dengan cara trial. Dari hasil trial didapatkan harga

Tout sebesar $76,65^\circ\text{C}$.

~ Ampas (menuju pembuangan)

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Cafein	78,2166	0,39	30,89
Catechin	58,9775	16,68	938,91
Protein	106,7119	10,48	1.118,00
Abu	60,8627	3,49	212,55
Lemak	105,6609	2,10	221,40
Karbohidrat	84,3921	17,46	1.473,59
Trace	99,4771	6,75	671,87

$$Q_{\text{ampas daun teh}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7$$

~ Ekstrak yang terikut (menuju pembuangan)

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Cafein	78,2166	0,32	25,25
Catechin	58,9775	2,23	131,49
Protein	106,7119	0,46	49,29
Abu	60,8627	0,15	9,37
Lemak	105,6609	0,09	9,76
Karbohidrat	84,3921	0,77	64,97
Trace	99,4771	0,30	29,62
Air	216,2656	387,20	83.738,79

$$Q_{\text{ekstrak yang terikut}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8$$

~ Menuju tangki penampung F140

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Cafein	78,2166	2,91	227,23
Catechin	58,9775	20,07	1.183,45
Protein	106,7119	4,16	443,65
Abu	60,8627	1,39	84,35
Lemak	105,6609	0,83	87,86
Karbohidrat	84,3921	6,93	584,77

Trace	99,4771	2,68	266,62
Air	216,2656	3.484,83	753.649,14

$$Q_{\text{the cair}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8$$

$$Q_{\text{keluar}} = Q_{\text{ampas}} + Q_{\text{ekstrak yang terikut (menuju pembuangan)}} + Q_{\text{teh cair}}$$

$$= 4.712,20 + 84.058,56 + 756.527,06$$

$$= 845.297,82 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar}} + Q_{\text{loss}}$$

$$\text{Asumsi: } Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{masuk}}$$

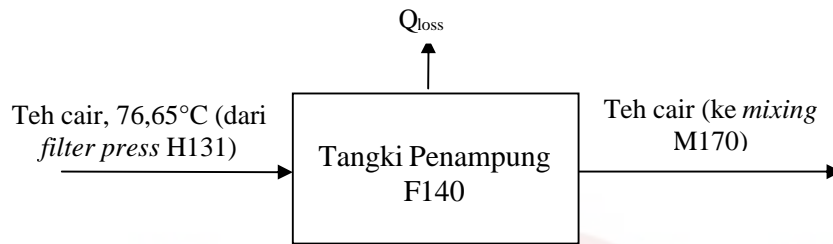
$$Q_{\text{masuk}} = 1.032.444,05 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{loss}} = 103.244,41 \text{ kJ}$$

Masuk		Keluar	
Dari tangki penampung F132:		Ke Pembuangan	
Teh Cair:		~ Ampas padatan	4.712,20
~ Ekstrak	1.026.675,88	<i>Caffeine</i>	30,89
<i>Caffeine</i>	308,12	<i>Catechin</i>	
<i>Catechin</i>	1.604,73	Komponen lain:	938,91
Komponen lain:		Protein	
Protein	603,31	Abu	
Abu	115,16	Lemak	1.118,00
Lemak	119,42	Karbohidrat	
Karbohidrat	796,52	<i>Trace</i>	212,55
<i>Trace</i>	362,86	~ Ekstrak yang terikut	221,40
Air	1.022.765,77	<i>Caffeine</i>	
~ Ampas	5.768,18	<i>Catechin</i>	1.473,59
<i>Caffeine</i>	37,69	Komponen lain:	
<i>Catechin</i>	1.200,74	Protein	671,87
Komponen lain:		Abu	
Protein	1.368,30	Lemak	93.397,85
Abu	261,17	Karbohidrat	25,25
Lemak	270,84	<i>Trace</i>	
Karbohidrat	1.806,49	Air	131,49
<i>Trace</i>	822,95	Ke Tangki penampung F140	
		Teh Cair:	

		~ Ekstrak	49,29
		<i>Caffeine</i>	
		<i>Catechin</i>	9,37
		Komponen lain:	
		Protein	9,76
		Abu	
		Lemak	64,97
		Karbohidrat	
		<i>Trace</i>	29,62
		Air	83.738,79
		Qloss	
			756.527,06
			227,23
			1.183,45
			443,65
			84,35
			87,86
			584,77
			266,62
			753.649,14
			103.244,41
Jumlah	1.032.444,05	Jumlah	1.032.444,05

5. Tangki Penampung F140



Komponen Masuk:

$Q_{\text{masuk penampung}} = Q_{\text{keluar dari filter press}} = 756.527,06 \text{ kJ}$

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Cafein	78,2166	2,91	227,23
Catechin	58,9775	20,07	1.183,45
Protein	106,7119	4,16	443,65
Abu	60,8627	1,39	84,35
Lemak	105,6609	0,83	87,86
Karbohidrat	84,3921	6,93	584,77
Trace	99,4771	2,68	266,62
Air	216,2656	3.484,83	753.649,14

Komponen Keluar:

T_{out} tidak diketahui. Oleh karena itu dicari dengan cara trial. Dari hasil trial didapatkan harga

T_{out} sebesar 40,12°C.

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Cafein	22,8522	2,91	66,50
Catechin	17,2561	20,07	346,33
Protein	30,9288	4,16	128,59
Abu	17,3852	1,39	24,09
Lemak	30,6392	0,83	25,48

Karbohidrat	24,2915	6,93	168,32
Trace	28,7270	2,68	76,99
Air	195,1423	3.484,83	680.038,06

$$Q_{\text{the cair}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8$$

$$Q_{\text{keluar}} = Q_{\text{teh cair}}$$

$$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar}} + Q_{\text{loss}}$$

$$\text{Asumsi: } Q_{\text{loss}} = 10\% \cdot Q_{\text{masuk}}$$

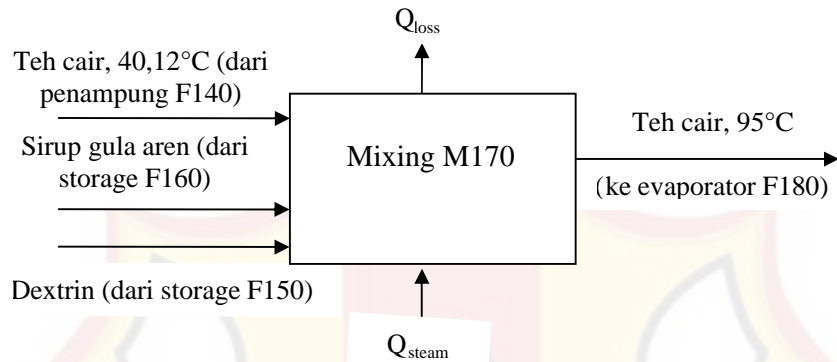
$$Q_{\text{masuk}} = 756.527,06 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{keluar}} = 680.874,35 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{loss}} = 75.652,71 \text{ kJ}$$

Masuk		Keluar	
Dari filtrasi H131 Teh Cair:		Ke Tangki mixing M170 Teh Cair:	
~ Ekstrak	756.527,06	~ Ekstrak	680.874,35
<i>Caffeine</i>	227,23	<i>Caffeine</i>	66,50
<i>Catechin</i>	1.183,45	<i>Catechin</i>	
Komponen lain:		Komponen lain:	346,33
Protein		Protein	
Abu		Abu	
Lemak	443,65	Lemak	128,59
Karbohidrat		Karbohidrat	
<i>Trace</i>	84,35	<i>Trace</i>	24,09
Air	87,86	Air	
	584,77	Qloss	25,48
			168,32
	266,62		76,99
	753.649,14		680.038,06
			75.652,71
Jumlah	756.527,06	Jumlah	756.527,06

6. Mixing M170



Sirup gula aren:

- Air
- Aren solid:

Karbohidrat = 0,95

Air = 0,05

$$C_p = 1,424.X_c + 4,187.X_w = 1,424.0,95 + 4,187.0,05 = 1,5622 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Dextrin ($C_{18}H_{32}O_{16}$) berdasarkan Kopp's Rule:

C = 10,89; H = 7,56; O = 13,42

$$C_p = 18.10,89 + 32.7,56 + 16.13,42 = 652,66 \text{ J/mol K}$$

$$B_m \text{ camp} = 18.12 + 32.1 + 16.18 = 504$$

$$C_p \text{ dextrin} = 1,2950 \text{ kJ/kg K} = 1,2950 \text{ kJ/kg C}$$

Panas teh cair masuk proses mixing M170:

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Teh cair:			
<i>Caffeine</i>	22,8522	2,91	66,50
<i>Catechin</i>			
Komponen lain:	17,2561	20,07	346,33
Protein			
Abu			

Lemak			
Karbohidrat			
Trace	30,9288	4,16	128,59
Air			
Sirup Gula Aren:	17,3852	1,39	24,09
Air	30,6392	0,83	25,48
Aren solid	24,2915	6,93	168,32
Dextrin	28,7270	2,68	76,99
	195,1423	3.484,83	680.038,06
	20,8893	286,31	5.980,76
	7,8108	594,64	4.644,58
	6,4748	264,28	1.711,19

Panas teh cair keluar proses mixing M170:

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Teh cair:			
<i>Caffeine</i>	105,1933	2,91	307,95
<i>Catechin</i>			
Komponen lain:	79,9270	20,07	1.603,82
Protein			
Abu			
Lemak	145,2830	4,16	604,01
Karbohidrat			
Trace	83,3853	1,39	115,56
Air			
Aren solid	143,7348	0,83	119,52
Dextrin	115,1883	6,93	798,16
	135,5966	2,68	363,43

	293,4880	3.771,14	1.106.784,30
	109,3505	594,64	65.024,08
	90,6472	264,28	23.956,62

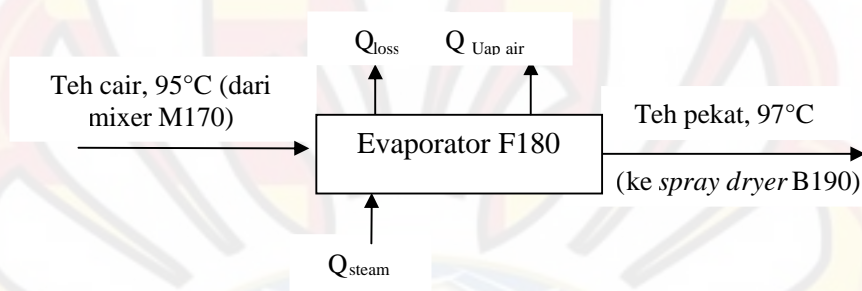
Asumsi: $Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{steam}}$

Neraca panas dalam proses mixing:

Masuk		Keluar	
Dari filter press H131		Ke evaporator F180	
Teh cair:		Teh cair:	
~ Ekstrak		<i>Caffeine</i>	
<i>Caffeine</i>		<i>Catechin</i>	307,95
<i>Catechin</i>	66,50	Komponen lain:	1.603,82
Komponen lain:		Protein	
Protein	346,33	Abu	
Abu		Lemak	
Lemak		Karbohidrat	604,01
Karbohidrat		<i>Trace</i>	
<i>Trace</i>	128,59	Air	115,56
Air		Aren solid	119,52
Sirup Gula Aren:	24,09	Dextrin	798,16
Air	25,48	Qloss	363,43
Aren solid	168,32		1.106.784,30
Dextrin	76,99		65.024,08
Qsteam	680.038,06		23.956,62
			56.274,06
	5.980,76		
	4.644,58		

	1.711,19		
	562.740,63		
Jumlah	1.255.951,50	Jumlah	1.255.951,50

7. Evaporator F180



Panas masuk evaporator F180

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Teh cair:			
<i>Caffeine</i>	105,1933	2,91	307,95
<i>Catechin</i>			
Komponen lain:	79,9270	20,07	1.603,82
Protein			
Abu			
Lemak	145,2830	4,16	604,01
Karbohidrat			
<i>Trace</i>	83,3853	1,39	115,56
Air			
Aren solid	143,7348	0,83	119,52
Dextrin	115,1883	6,93	798,16
	135,5966	2,68	363,43
	293,4880	3.771,14	1.106.784,30
	7,8108	594,64	65.024,08

	90,6472	264,28	23.956,62
--	---------	--------	-----------

Panas keluar evaporator F180

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Teh pekat:			
<i>Caffeine</i>	109,0217	2,91	316,75
<i>Catechin</i>			
Komponen lain:	82,2106	20,07	1.649,64
Protein			
Abu			
Lemak			
Karbohidrat	149,5073	4,16	621,58
<i>Trace</i>			
Air	85,8654	1,39	119,00
Aren solid	147,8976	0,83	122,98
Dextrin	118,5661	6,93	821,56
	139,5541	2,68	374,03
	301,9239	1.097,41	331.333,49
	112,4748	594,64	66.881,92
	93,2371	264,28	24.641,09

Air yang diuapkan:

Saturated steam pada $T=120^{\circ}\text{C}$

$H_v (T_{out}=120^{\circ}\text{C}) = 2.706,3 \text{ kJ/kg}$ [21, hal 962]

$$H_L (T_{out}=120^{\circ}\text{C}) = 503,71 \text{ kJ/kg [21, hal 962]}$$

$$Q_{\text{uap air}} = \text{massa uap air} \cdot (H_v - H_L)$$

$$= 2.673,73 \text{ kg} \cdot (2.706,3 - 503,71) \text{ kJ/kg}$$

$$= 5.889.135,52 \text{ kJ}$$

$$\text{Asumsi: } Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{steam}}$$

$$Q_{\text{masuk evaporator}} = Q_{\text{keluar mixer}} = 1.199.677,44 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{keluar}} = Q_{\text{teh pekat}} + Q_{\text{uap air}}$$

$$= 1.199.677,44 \text{ kJ} + 5.889.135,52 \text{ kJ}$$

$$= 6.884.499,79 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{masuk}} + Q_{\text{steam}} = Q_{\text{keluar}} + Q_{\text{loss}}$$

$$1.199.677,44 \text{ kJ} + Q_{\text{steam}} = 6.884.499,79 \text{ kJ} + 10\% Q_{\text{steam}}$$

$$Q_{\text{steam}} = 5.684.822,35 \text{ kJ}$$

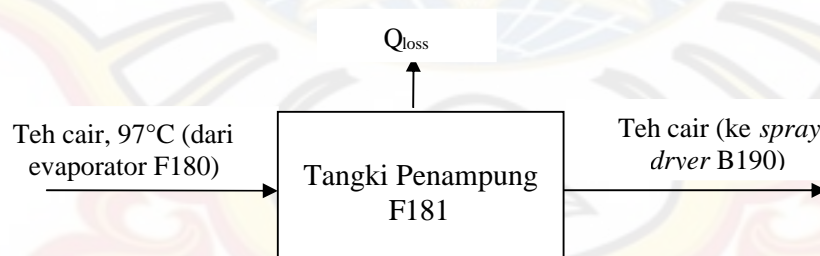
$$Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{steam}} = 568.482,23 \text{ kJ}$$

Neraca panas pada evaporator:

Masuk		Keluar	
Teh cair:		Teh pekat:	
<i>Caffeine</i>	307,95	<i>Caffeine</i>	316,75
<i>Catechin</i>		<i>Catechin</i>	
Komponen lain:	1.603,82	Komponen lain:	1.649,64
Protein		Protein	

Abu		Abu	
Lemak		Lemak	
Karbohidrat	604,01	Karbohidrat	621,58
Trace		Trace	
Air	115,56	Air	119,00
Aren solid	119,52	Aren solid	122,98
Dextrin	798,16	Dextrin	821,56
Qsteam	363,43	Air yang diuapkan	374,03
	1.106.784,30	Qloss	331.333,49
	65.024,08		66.881,92
	23.956,62		24.641,09
	5.684.822,35		5.899.135,52
			568.482,23
Jumlah	6.884.499,79	Jumlah	6.884.499,79

8. Tangki penampung F181



Masuk:

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
----------	------------	--------	--------

Teh pekat:			
<i>Caffeine</i>	109,0217	2,91	316,75
<i>Catechin</i>			
Komponen lain:	82,2106	20,07	1.649,64
Protein			
Abu			
Lemak			
Karbohidrat	149,5073	4,16	621,58
<i>Trace</i>			
Air	85,8654	1,39	119,00
Aren solid	147,8976	0,83	122,98
Dextrin	118,5661	6,93	821,56
	139,5541	2,68	374,03
	301,9239	1.097,41	331.333,49
	112,4748	594,64	66.881,92
	93,2371	264,28	24.641,09

$Q_{\text{teh pekat masuk}} = Q_{\text{teh pekat dari evaporator}}$

$$= 426.882,03 \text{ kJ}$$

Keluar:

T_{out} tidak diketahui. Oleh karena itu dicari dengan cara trial. Dari hasil trial didapatkan harga

T_{out} sebesar 89,83°C.

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Teh pekat:			
<i>Caffeine</i>	98,1650	2,91	285,20
<i>Catechin</i>			
Komponen lain:	74,0239	20,07	1.485,37
Protein			
Abu			
Lemak			
Karbohidrat	134,3811	4,16	558,69
<i>Trace</i>			
Air	76,9964	1,39	106,70
Aren solid	132,9848	0,83	110,58
Dextrin	106,4749	6,93	737,78

	125,3842	2,68	336,05
	271,6990	1.097,41	298.164,54
	101,2743	594,64	60.221,65
	83,9524	264,28	22.187,27

$$Q_{\text{teh pekat}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8$$

$$Q_{\text{keluar}} = Q_{\text{teh pekat}}$$

$$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar}} + Q_{\text{loss}}$$

$$\text{Asumsi: } Q_{\text{loss}} = 10\% \cdot Q_{\text{masuk}}$$

$$Q_{\text{masuk}} = 426.882,03 \text{ kJ}$$

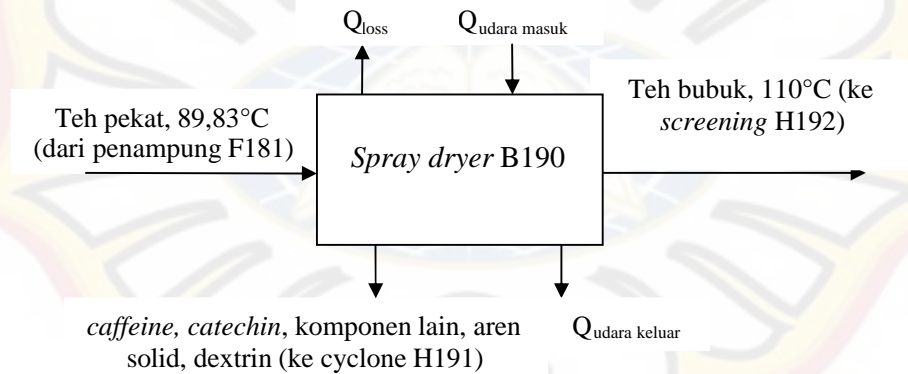
$$Q_{\text{keluar}} = 384.193,84 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{loss}} = 42.688,20 \text{ kJ}$$

Masuk		Keluar	
Dari filtrasi H131 Teh Cair: ~ Ekstrak <i>Caffeine</i> <i>Catechin</i> Komponen lain: Protein Abu Lemak Karbohidrat <i>Trace</i>		Ke Tangki mixing M170 Teh Cair: ~ Ekstrak <i>Caffeine</i> <i>Catechin</i> Komponen lain: Protein Abu Lemak Karbohidrat	
	316,75		285,20
	1.649,64		1.485,37
	621,58		

Air	119,00	<i>Trace</i>	558,69
Aren solid	122,98	Air	106,70
Dekstrin	821,56	Aren solid	110,58
	374,03	Dekstrin	737,78
	331.333,49	Qloss	336,05
	66.881,92		298.164,54
	24.641,09		60.221,65
			22.187,27
			42.688,20
Jumlah	426.882,04	Jumlah	426.882,04

9. *Spray dryer*



Panas masuk *spray dryer*:

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Teh pekat:			
<i>Caffeine</i>	98,1650	2,91	285,20
<i>Catechin</i>			
Komponen lain:	74,0239	20,07	1.485,37
Protein			
Abu			
Lemak			
Karbohidrat	134,3811	4,16	558,69
<i>Trace</i>			
Air	76,9964	1,39	106,70
Aren solid	132,9848	0,83	110,58
Dextrin	106,4749	6,93	737,78
	125,3842	2,68	336,05
	271,6990	438,96	119.265,82
	101,2743	594,64	60.221,65
	83,9524	264,28	22.187,27

Panas keluar *spray dryer*:

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Teh bubuk:			
<i>Caffeine</i>	128,7061	1,15	148,08
<i>Catechin</i>			
Komponen lain:	97,0542	7,95	771,21
Protein			
Abu			
Lemak			
Karbohidrat	117,0574	1,65	291,50
<i>Trace</i>			
Air	102,0983	0,55	56,03
Aren solid	175,0051	0,33	57,62
Dextrin	140,6104	2,74	385,83
Material yang	165,3653	1,06	175,51

terikat cyclone:	356,8554	11,11	3.963,87
<i>Caffeine</i>	132,7800	235,48	31.267,30
<i>Catechin</i>			
Komponen lain:	110,0716	104,66	11.519,71
Protein			
Abu			
Lemak			
Karbohidrat			
<i>Trace</i>			
Aren solid	128,7061	0,01	1,50
Dextrin	97,0542	0,08	7,79
	117,0574	0,02	2,94
	102,0983	0,01	0,57
	175,0051	0,003	0,58
	140,6104	0,03	3,90
	165,3653	0,01	1,77
	132,7800	2,38	315,83
	110,0716	1,06	116,36

$Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{udara panas masuk}}$ [22]

Relative humidity di Indonesia rata-rata = 80% [23]

$$H_R = 80 = 100 \frac{P_a}{P_{as}} \dots\dots\dots (B-1)$$

$T_o = 25^\circ\text{C}$ dan $P = 101,325 \text{ kPa}$, maka $P_{as} = 3,169 \text{ kPa}$ [21]

Substitusi $P_{as} = 3,169 \text{ kPa}$ ke persamaan (1), sehingga didapatkan:

$$P_a = \left(\frac{80}{100} \right) \cdot 3,169 \text{ kPa} = 2,5352 \text{ kPa}$$

Mencari *humidity* udara masuk *dryer* [21]

$$H_1 = \frac{18,02}{28,97} \cdot \left(\frac{Pa}{P - Pa} \right) = \frac{18,02}{28,97} \cdot \left(\frac{2,5352}{101,325 - 2,5352} \right)$$

$$= 0,0160 \text{ kg H}_2\text{O/kg udara kering}$$

Suhu udara masuk *dryer* = 125°C

Entalpi udara masuk *dryer*

$$Hg_1 = Cs.(T-To) + H_1.\lambda_o \quad \dots\dots\dots (B-2)$$

Di mana $Cs = 1,005 + 1,88 H_1$

$$\lambda_o \text{ pada } T_o = 25^\circ\text{C} = 2.442,31 \text{ kJ/kg [21]}$$

$$\begin{aligned} \text{Persamaan (2) menjadi } Hg_1 &= (1,005 + 1,88.H_1).(T-To) + H_1.\lambda_o \\ &= (1,005 + 1,88.0,0160) \cdot (125 - 25) + 0,0160 \cdot 2.442,31 \\ &= 142,49 \text{ kJ/kg udara kering} \end{aligned}$$

Suhu udara keluar *dryer* = 110 °C

Entalpi udara keluar *spray dryer*

$$\begin{aligned} Hg_2 &= (1,005 + 1,88.H_2).(T-To) + H_2.\lambda_o \\ &= (1,005 + 1,88 H_2).(110-25) + H_2.2.442,31 \\ &= 85,425 + 2.602,11.H_2 \text{ kJ/kg udara kering} \end{aligned}$$

Neraca massa air

$$G.H_1 + \text{air dari bahan masuk} = G.H_2 + \text{air dari bahan keluar}$$

$$G.0,0160 + 438,96 = G.H_2 + 11,11$$

$$G = \frac{427,86}{(H_2 - 0,0160)} \text{ kg/kg udara kering} \quad \dots\dots\dots (B-3)$$

Neraca panas total

$$Q_{\text{udara masuk}} + Q_{\text{teh masuk}} = Q_{\text{udara keluar}} + Q_{\text{cyclone}} + Q_{\text{teh keluar}} + Q_{\text{loss}}$$

$$G.Hg_1 + 155.508,70 = G.Hg_2 + 451,24 + 48.636,66 + 10\% \cdot G.Hg_1$$

$$90\% \cdot G.Hg_1 + 106.420,80 = G (85,425 + 2.602,11.H_2)$$

$$0,9 \cdot 142,49 G + 106.420,80 = G (85,425 + 2.602,11.H_2)$$

$$G (85,425 + 2.602,11.H_2 - 128,241) = 106.420,80$$

$$G = \frac{106.420,80}{2.602,11.H_2 - 42,816} \dots\dots\dots (B-4)$$

Dari persamaan (B-3) dan (B-4)

$$\frac{427,86}{(H_2 - 0,0160)} = \frac{106.420,80}{2.602,11.H_2 - 42,816}$$

$$H_2 = 0,0165 \text{ kg H}_2\text{O/kg udara kering}$$

$$Hg_2 = 85,425 + 2.602,11 \cdot 0,0165 = 128,35 \text{ kJ/kg udara kering}$$

$$G = \frac{106.420,80}{2.602,11 \times 0,0165 - 42,816} = 929.324,92 \text{ kg udara kering}$$

$$Q_{\text{udara masuk}} = G.Hg_1 = 929.324,92 \cdot 142,49 = 132.416.584,88 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{udara keluar}} = G.Hg_2 = 929.324,92 \cdot 128,35 = 119.281.347,19 \text{ kJ}$$

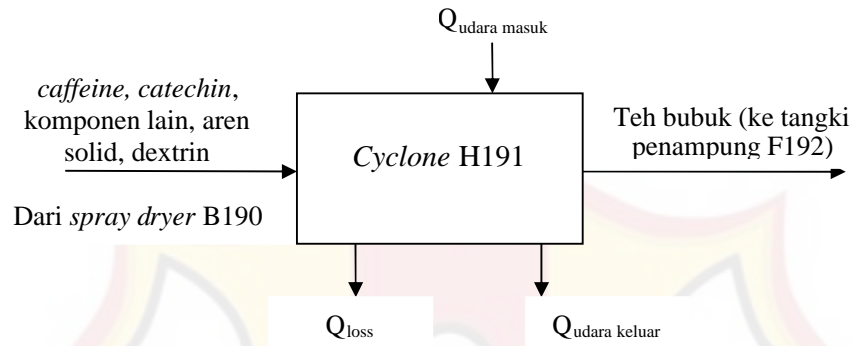
$$\begin{aligned} \text{Massa udara masuk} &= (1+H_1) \cdot G = (1+0,0160) \cdot 929.324,92 \\ &= 944.159,45 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa udara keluar} &= (1+H_2) \cdot G = (1+0,0165) \cdot 929.324,92 \\ &= 944.656,23 \text{ kg} \end{aligned}$$

Masuk		Keluar	
Dari evaporator F180		Ke tangki penampung F192	
Teh pekat:		Teh bubuk:	
	285,20		148,08
Caffeine		Caffeine	
Catechin	1.485,37	Catechin	771,21
Komponen lain:		Komponen lain:	
Protein		Protein	

Abu		Abu	
Lemak		Lemak	
Karbohidrat	558,69	Karbohidrat	291,50
<i>Trace</i>		<i>Trace</i>	
Air	106,70	Air	56,03
Aren solid	110,58	Aren solid	57,62
Dextrin	737,78	Dextrin	385,83
Q udara masuk	336,05	Material yang	175,51
	119.265,82	terikat cyclone:	3.963,87
	60.221,65	<i>Caffeine</i>	
	22.187,27	<i>Catechin</i>	31.267,30
132.416.584,88		Komponen lain:	11.519,71
		Protein	
		Abu	
		Lemak	
		Karbohidrat	
		<i>Trace</i>	
		Aren solid	1,50
		Dextrin	7,79
		Q udara keluar	
		Q loss	
			2,94
			0,57
			0,58
			3,90
			1,77
			315,83
			116,36
			119.281.347,19
			13.241.658,49
Jumlah	132.572.093,58	Jumlah	132.572.093,58

10. Cyclone H191



Panas masuk cyclone:

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Material yang terikat cyclone:			
<i>Caffeine</i>	128,7061	0,01	1,50
<i>Catechin</i>			
Komponen lain:	97,0542	0,08	7,79
Protein			
Abu			
Lemak			
Karbohidrat	117,0574	0,02	2,94
Trace			
Aren solid	102,0983	0,01	0,57
Dextrin	175,0051	0,003	0,58
	140,6104	0,03	3,90
	165,3653	0,01	1,77
	132,7800	2,38	315,83
	110,0716	1,06	116,36

Panas keluar cyclone:

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
----------	------------	--------	--------

Material yang terikat cyclone:			
<i>Caffeine</i>			
<i>Catechin</i>	128,7061	0,01	1,50
Komponen lain:			
Protein	97,0542	0,08	7,79
Abu			
Lemak			
Karbohidrat	117,0574	0,02	2,94
Trace			
Aren solid	102,0983	0,01	0,57
Dextrin	175,0051	0,003	0,58
	140,6104	0,03	3,90
	165,3653	0,01	1,77
	132,7800	2,38	315,83
	110,0716	1,06	116,36

$Q_{\text{udara masuk cyclone}} = Q_{\text{udara keluar spray dryer}} = 119.281.347,19 \text{ kJ}$

$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{teh bubuk}} + Q_{\text{udara masuk}}$

$= 451,24 \text{ kJ} + 119.281.347,19 \text{ kJ}$

$= 119.281.798,43 \text{ kJ}$

Asumsi: $Q_{\text{loss}} = 5\% Q_{\text{masuk}}$

$Q_{\text{loss}} = 5\% Q_{\text{masuk}} = 5.964.089,92 \text{ kJ}$

$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar ke tangki penampungan teh bubuk}} + Q_{\text{loss}} + Q_{\text{udara keluar}}$

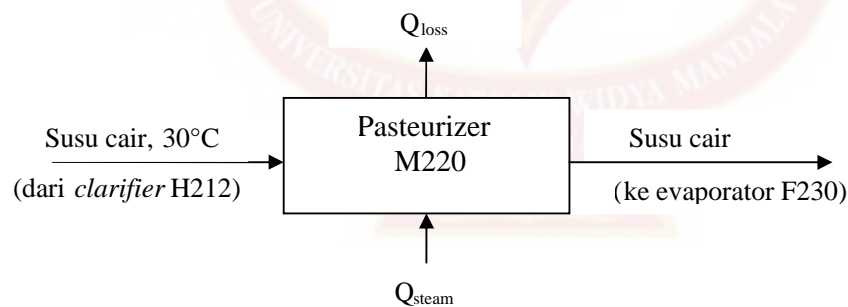
$119.281.798,43 \text{ kJ} = 490,88 \text{ kJ} + 5.964.089,92 \text{ kJ} + Q_{\text{udara keluar}}$

$Q_{\text{udara keluar}} = 113.317.217,63 \text{ kJ}$

Masuk		Keluar	
Dari spray dryer B190		Ke screening H192	
Material yang terikat cyclone:	1,50	Teh bubuk:	1,50
<i>Caffeine</i>	7,79	<i>Caffeine</i>	
<i>Catechin</i>		<i>Catechin</i>	7,79
Komponen lain:		Komponen lain:	
Protein		Protein	
Abu	2,94	Abu	
Lemak		Lemak	2,94
Karbohidrat	0,57	Karbohidrat	
<i>Trace</i>		<i>Trace</i>	0,57
Aren solid	0,58	Aren solid	0,58
Dextrin	3,90	Dextrin	3,90
$Q_{\text{udara masuk}}$	1,77	Air	1,77
	315,83	Q_{loss}	
		$Q_{\text{udara keluar}}$	315,83
	116,36		116,36
	116,36		39,64
	119.281.347,19		5.964.089,92
			113.317.217,63
Jumlah	119.281.798,43	Jumlah	119.281.798,43

Pembuatan susu bubuk:

1. Proses Pasteurisasi M220



Panas masuk proses pasteurisasi

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Susu cair:			
Lemak	10,3080	273,15	2.815,57
Protein	10,2022	238,13	2.429,43
Laktosa	6,0040	336,18	2.018,43
Abu	5,7089	50,43	287,88
Air	20,8893	6.105,86	127.546,80

Panas keluar pasteurisasi

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Susu cair:			
Lemak	84,2574	273,15	23.014,55
Protein	82,3907	238,13	19.619,44
Laktosa	48,0323	336,18	16.147,47
Abu	46,7874	50,43	287,88
Air	167,3570	6.105,86	1.021.857,45

Asumsi: $Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{steam}}$

$$Q_{\text{masuk}} = 135.098,12 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{keluar}} = 1.080.926,79 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{masuk}} + Q_{\text{steam}} = Q_{\text{keluar}} + Q_{\text{loss}}$$

$$135.098,12 \text{ kJ} + Q_{\text{steam}} = 1.080.926,79 \text{ kJ} + 10\% Q_{\text{steam}}$$

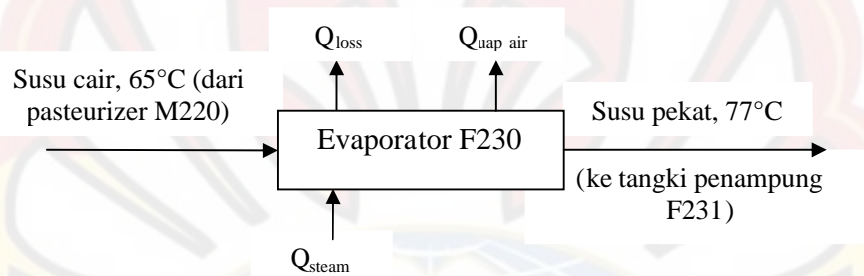
$$Q_{\text{steam}} = 1.050.920,75 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{steam}} = 105.092,07 \text{ kJ}$$

Neraca panas pada pasteurizer:

Masuk (kJ)		Keluar (kJ)	
Dari clarifier H212		Ke evaporator F230	
Susu cair:	135.098,12	Susu cair:	1.080.926,79
Lemak	2.815,57	Lemak	23.014,55
Protein	2.429,43	Protein	19.619,44
Laktosa	2.018,43	Laktosa	16.147,47
Abu	287,88	Abu	287,88
Air	127.546,80	Air	1.021.857,45
Q_{steam}	1.050.920,75	Q_{loss}	105.092,07
Jumlah	1.186.018,86	Jumlah	1.186.018,86

2. Proses Evaporator F230



Panas masuk evaporator F230

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Susu cair:			
Lemak	84,2574	273,15	23.014,55
Protein	82,3907	238,13	19.619,44
Laktosa	48,0323	336,18	16.147,47
Abu	46,7874	50,43	287,88
Air	167,3570	6.105,86	1.021.857,45

Panas keluar evaporator F230

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Susu pekat:			
Lemak	110,2872	273,15	30.124,47
Protein	107,4394	238,13	25.584,23
Laktosa	62,4220	336,18	20.991,71
Abu	61,2853	50,43	3.090,43
Air	217,7258	1.097,41	238.933,91

Air yang diuapkan:

Saturated steam pada $T=120^{\circ}\text{C}$

$$H_v (T_{out}=120^{\circ}\text{C}) = 2.706,3 \text{ kJ/kg [21]}$$

$$H_L (T_{out}=120^{\circ}\text{C}) = 503,61 \text{ kJ/kg [21]}$$

$$Q_{\text{uap air}} = \text{massa uap air} \cdot (H_v - H_L)$$

$$= 5.088,45 \text{ kg} \cdot (2.706,3 - 503,61) \text{ kJ/kg}$$

$$= 11.032.059,38 \text{ kJ}$$

$$\text{Asumsi: } Q_{\text{loss}} = 5\% Q_{\text{steam}}$$

$$Q_{\text{masuk evaporator}} = Q_{\text{keluar pasteurizer}} = 1.080.926,79 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{keluar}} = Q_{\text{susu pekat}} + Q_{\text{uap air}}$$

$$= 318.724,75 \text{ kJ} + 11.032.059,38 \text{ kJ}$$

$$= 11.350.784,13 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{masuk}} + Q_{\text{steam}} = Q_{\text{keluar}} + Q_{\text{loss}}$$

$$1.080.926,79 \text{ kJ} + Q_{\text{steam}} = 11.350.784,13 \text{ kJ} + 5\% Q_{\text{steam}}$$

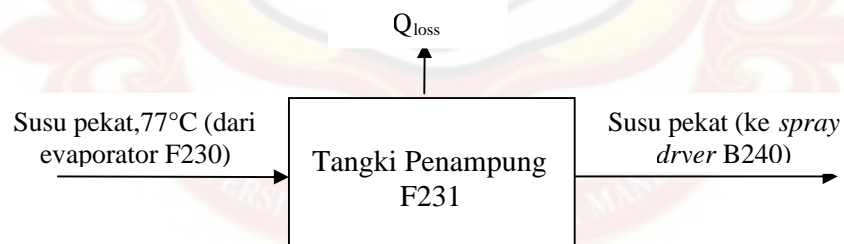
$$Q_{\text{steam}} = 10.810.376,15 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{loss}} = 5\% Q_{\text{steam}} = 540.518,81 \text{ kJ}$$

Neraca panas pada evaporator:

Masuk (kJ)		Keluar (kJ)	
Dari pasteurizer M220		Ke tangki penampung F231	
Susu cair:	1.080.926,79	Susu pekat:	318.724,75
Lemak	23.014,55	Lemak	30.124,47
Protein	19.619,44	Protein	25.584,23
Laktosa	287,88	Laktosa	20.991,71
Abu	1.021.857,45	Abu	3.090,43
Air	10.810.376,15	Air	238.933,91
Q_{steam}		Uap air	11.032.059,38
		Q_{loss}	540.518,81
Jumlah	11.891.302,94	Jumlah	11.891.302,94

3. Tangki Penampung F231



Panas masuk tangki penampung

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
----------	------------	--------	--------

Susu pekat:			
Lemak	110,2872	273,15	30.124,47
Protein	107,4394	238,13	25.584,23
Laktosa	62,4220	336,18	20.991,71
Abu	61,2853	50,43	3.090,43
Air	217,7258	1.097,41	238.933,91

Tout tidak diketahui. Oleh karena itu dicari dengan cara trial. Dari hasil trial didapatkan harga Tout sebesar 71,83°C.

Panas keluar tangki penampung

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Susu pekat:			
Lemak	99,0351	273,15	27.051,02
Protein	96,6318	238,13	23.010,65
Laktosa	56,2352	336,18	18.905,09
Abu	55,0164	50,43	2.774,30
Air	196,0176	1.097,41	215.111,21

Asumsi: $Q_{loss} = 10\% Q_{masuk}$

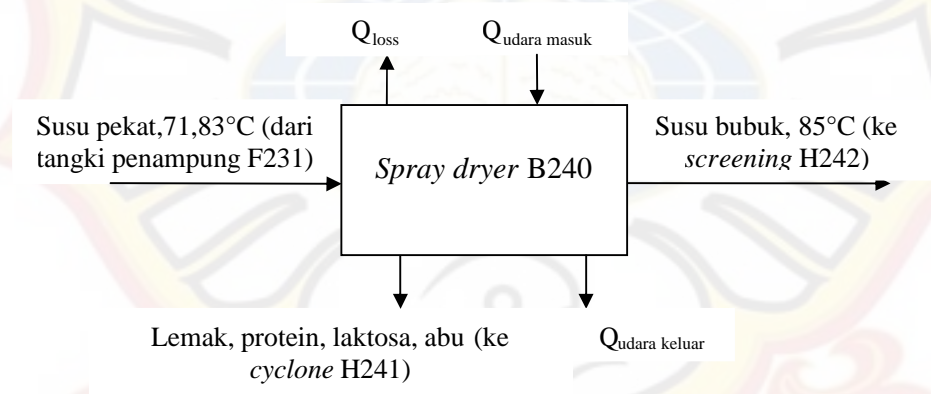
$Q_{loss} = 10\% Q_{masuk} = 31.872,48 \text{ kJ}$

Neraca panas pada tangki penampung:

Masuk (kJ)		Keluar (kJ)	
Dari evaporator F230		Ke <i>spray dryer</i> B240	

Susu pekat:		Susu pekat:	
Lemak	318.724,75	Lemak	286.852,27
Protein	30.124,47	Protein	27.051,02
Laktosa	25.584,23	Laktosa	23.010,65
Abu	20.991,71	Abu	18.905,09
Air	3.090,43	Air	2.774,30
	238.933,91	Q_{loss}	215.111,21
			31.872,48
Jumlah	318.724,75	Jumlah	318.724,75

4. *Spray dryer B240*



Panas masuk *spray dryer*:

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Susu pekat:			
Lemak	99,0351	109,26	10.820,41
Protein	96,6318	95,25	9.204,26

Laktosa	56,2352	134,47	7.562,04
Abu	55,0164	20,17	1.109,72
Air	196,0176	438,96	86.044,48

Panas keluar *spray dryer*:

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Susu bubuk:			
Lemak	127,8180	108,17	13.825,52
Protein	124,2194	94,30	11.713,68
Laktosa	72,0485	133,13	9.591,60
Abu	71,0572	19,97	1.418,94
Air	251,3640	11,11	2.792,10
Material yang terikat cyclone			
Lemak	127,8180	1,09	139,65
Protein	124,2194	0,95	92,04
Laktosa	72,0485	1,34	167,04
Abu	71,0572	0,20	11,10

$$Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{udara panas masuk}} \quad [22]$$

Relative humidity di Indonesia rata-rata = 80% [23]

$$H_R = 80 = 100 \frac{P_a}{P_{as}} \dots\dots\dots (B-1)$$

$T_o = 25^\circ\text{C}$ dan $P = 101,325 \text{ kPa}$, maka $P_{as} = 3,169 \text{ kPa}$ [21]

Substitusi $P_{as} = 3,169 \text{ kPa}$ ke persamaan (1), sehingga didapatkan:

$$P_a = \left(\frac{80}{100} \right) \cdot 3,169 \text{ kPa} = 2,5352 \text{ kPa}$$

Mencari *humidity* udara masuk *dryer* [21]

$$H_1 = \frac{18,02}{28,97} \cdot \left(\frac{P_a}{P - P_a} \right) = \frac{18,02}{28,97} \cdot \left(\frac{2,5352}{101,325 - 2,5352} \right)$$

$$= 0,0160 \text{ kg H}_2\text{O/kg udara kering}$$

Suhu udara masuk *dryer* = 125°C

Entalpi udara masuk *dryer*

$$H_{g1} = C_s \cdot (T - T_o) + H_1 \cdot \lambda_o \quad \dots\dots\dots (B-2)$$

Di mana $C_s = 1,005 + 1,88 H_1$

$$\lambda_o \text{ pada } T_o = 25^\circ\text{C} = 2.442,31 \text{ kJ/kg [21]}$$

Persamaan (2) menjadi $H_{g1} = (1,005 + 1,88 \cdot H_1) \cdot (T - T_o) + H_1 \cdot \lambda_o$

$$= (1,005 + 1,88 \cdot 0,0160) \cdot (125 - 25) + 0,0160 \cdot 2.442,31$$

$$= 142,49 \text{ kJ/kg udara kering}$$

Suhu udara keluar *dryer* = 85 °C

Entalpi udara keluar *spray dryer*

$$H_{g2} = (1,005 + 1,88 \cdot H_2) \cdot (T - T_o) + H_2 \cdot \lambda_o$$

$$= (1,005 + 1,88 H_2) \cdot (85 - 25) + H_2 \cdot 2.442,31$$

$$= 60,30 + 2.555,11 \cdot H_2 \text{ kJ/kg udara kering}$$

Neraca massa air

$G \cdot H_1 + \text{air dari bahan masuk} = G \cdot H_2 + \text{air dari bahan keluar}$

$$G \cdot 0,0160 + 438,96 = G \cdot H_2 + 11,11$$

$$G = \frac{427,86}{(H_2 - 0,0160)} \text{ kg/kg udara kering} \quad \dots\dots\dots (B-3)$$

Neraca panas total

$$Q_{\text{udara masuk}} + Q_{\text{susu masuk}} = Q_{\text{udara keluar}} + Q_{\text{cyclone}} + Q_{\text{susu keluar}} + Q_{\text{loss}}$$

$$G.Hg_1 + 114.740,91 = G.Hg_2 + 409,83 + 39.341,84 + 10\% \cdot G.Hg_1$$

$$90\% \cdot G.Hg_1 + 74.989,24 = G (60,30 + 2.555,11.H_2)$$

$$0,9 \cdot 142,49 G + 74.989,24 = G (60,30 + 2.555,11.H_2)$$

$$G (60,30 + 2.555,11.H_2 - 128,241) = 74.989,24$$

$$G = \frac{74.989,24}{(2.555,11H_2 - 67,941)} \dots\dots\dots (B-4)$$

Dari persamaan (B-3) dan (B-4)

$$\frac{427,86}{(H_2 - 0,0160)} = \frac{74.989,24}{(2.555,11H_2 - 67,941)}$$

$$H_2 = 0,0274 \text{ kg H}_2\text{O/kg udara kering}$$

$$Hg_2 = 60,30 + 2.555,11 \cdot 0,0274 = 130,23 \text{ kJ/kg udara kering}$$

$$G = \frac{74.989,24}{(2.555,11 \cdot 0,0274 - 67,941)} = 37.626,07 \text{ kg udara kering}$$

$$Q_{\text{udara masuk}} = G.Hg_1 = 37.626,07 \cdot 142,49 = 5.361.219,96 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{udara keluar}} = G.Hg_2 = 37.626,07 \cdot 130,23 = 4.900.087,20 \text{ kJ}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa udara masuk} &= (1+H_1) \cdot G = (1+0,0160) \cdot 37.626,07 \\ &= 38.226,68 \text{ kg} \end{aligned}$$

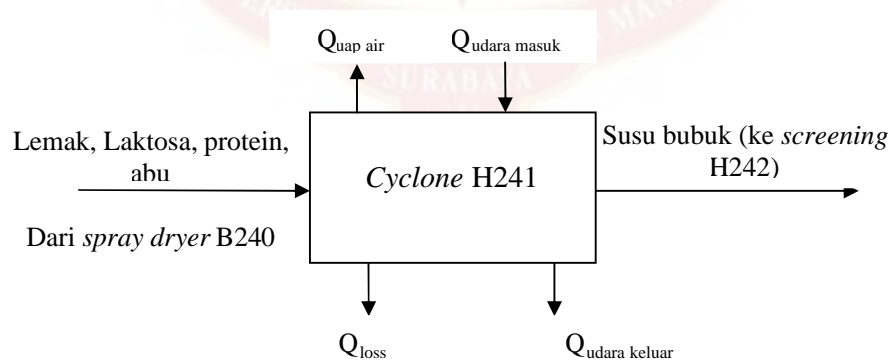
$$\begin{aligned} \text{Massa udara keluar} &= (1+H_2) \cdot G = (1+0,0274) \cdot 37.626,07 \\ &= 38.655,86 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{udara panas masuk}} = 536.122,00 \text{ kJ}$$

Neraca panas pada *spray dryer*:

Masuk (kJ)		Keluar (kJ)	
Dari tangki penampung F231		Ke screening H242	
Susu pekat:		Susu bubuk:	
	114.740,91	Lemak	39.341,84
Lemak	10.820,41	Protein	13.825,52
Protein	9.204,26	Laktosa	11.713,68
Laktosa	7.562,04	Abu	9.591,60
Abu	1.109,72	Air	1.418,94
Air	86.044,48		2.792,10
Q udara masuk		Material yang terikat cyclone (H241)	
	5.361.219,96	Lemak	409,83
		Protein	139,65
		Laktosa	92,04
		Abu	167,04
		Q udara keluar	11,10
		Q loss	
			4.247.350,19
			444.472,18
Jumlah	5.475.960,87	Jumlah	5.475.960,87

5. Cyclone H241



Panas masuk *cyclone*

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Material yang terikat <i>cyclone</i>			
Lemak	127,8180	1,09	139,65
Protein	124,2194	0,95	92,04
Laktosa	72,0485	1,34	167,04
Abu	71,0572	0,20	11,10

Panas keluar *cyclone*

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Material yang terikat <i>cyclone</i>			
Lemak	127,8180	1,09	139,65
Protein	124,2194	0,95	92,04
Laktosa	72,0485	1,34	167,04
Abu	71,0572	0,20	11,10
Air	251,3640	0,11	27,92

Qudara masuk *cyclone* = Q udara keluar *spray dryer* = 4.900.087,20 kJ

Qmasuk = Q susu bubuk + Q udara masuk

= 409,83 kJ + 4.900.087,20 kJ

= 4.900.497,03 kJ

Asumsi: $Q_{\text{loss}} = 5\% Q_{\text{masuk}}$

$$Q_{\text{loss}} = 5\% Q_{\text{masuk}} = 245.024,85 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar ke screening}} + Q_{\text{loss}} + Q_{\text{udara keluar}}$$

$$4.900.497,03 \text{ kJ} = 437,75 \text{ kJ} + 245.024,85 \text{ kJ} + Q_{\text{udara keluar}}$$

$$Q_{\text{udara keluar}} = 4.655.034,43 \text{ kJ}$$

Neraca panas pada *cyclone*:

Masuk (kJ)		Keluar (kJ)	
Dari <i>spray dryer</i> B240		Ke <i>screening</i> H242	
Susu bubuk:	409,83	Susu bubuk:	437,75
Lemak	139,65	Lemak	139,65
Protein	92,04	Protein	92,04
Laktosa	167,04	Laktosa	167,04
Abu	11,10	Abu	11,10
Q _{udara masuk}	4.900.087,20	Air	27,92
		Ke kondenser	
		Q _{udara keluar}	4.655.034,43
		Q _{loss}	245.024,85
Jumlah	4.900.497,03	Jumlah	4.900.497,03

Perhitungan Cp untuk mutiara:

$$C_p \text{ sukrosa} = 0,3 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} = 1,2552 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} [24]$$

$$\text{Protein} = \int C_p \cdot dT = \int (2,0082 + 1,2089 \cdot 10^{-3} T - 1,3129 \cdot 10^{-6} T^2)$$

$$\text{Lemak} = \int C_p \cdot dT = \int (1,9842 + 1,4733 \cdot 10^{-3} T - 4,8008 \cdot 10^{-6} T^2)$$

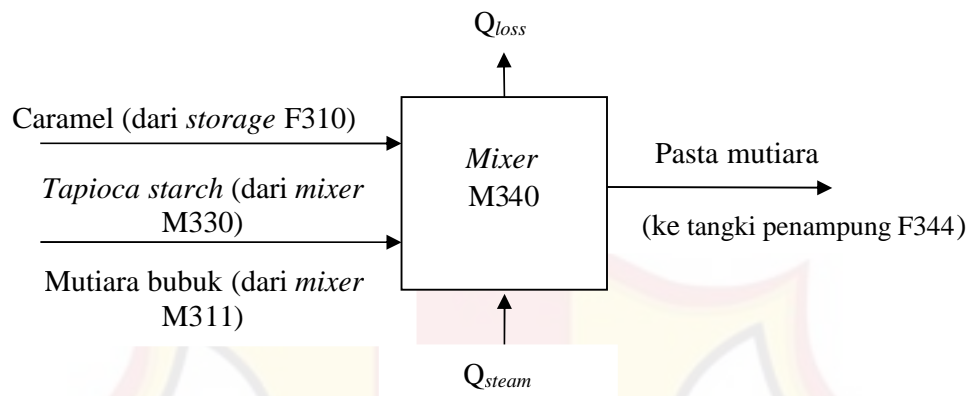
$$\text{Abu} = \int C_p \cdot dT = \int (1,0926 + 1,8896 \cdot 10^{-3} T - 3,6817 \cdot 10^{-6} T^2)$$

$$\text{Karbohidrat} = 1,5488 + (1,9625 \times 10^{-3} T) - (5,2399 \times 10^{-6} T^2) [21]$$

$$C_p \text{ air} = (4,1762 - 9,0864 \times 10^{-5} T) + 5,4731 \times 10^{-6} T^2 \text{ kJ/kg} [15]$$

Pembuatan mutiara bubuk:

1. Proses *Mixing* M340



Panas masuk proses *mixing*

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Dari storage F310			
Caramel:			
Gula pasir	6,2760	38,25	608,11
Air	20,8893	12,75	674,69
Dari mixer M330			
Tapioca starch			
Karbohidrat	7,9940	44,98	910,90
Air	20,8893	21,64	1.145,17
Abu	5,7089	0,13	1,92

Protein	10,2022	0,56	14,50
Lemak	10,1054	0,25	6,53
Dari mixer M311			
Mutiara cair:			
Gula pasir	6,2760	5,10	32,01
Karbohidrat	7,9940	6,00	47,94
Air	20,8893	4,59	95,85
Abu	5,7089	0,02	0,10
Protein	10,2022	0,07	0,76
Lemak	10,1054	0,03	0,34

Panas keluar proses *mixing*

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Pasta mutiara			
Gula pasir	116,7336	101,99	11.906,16
Karbohidrat	154,2456	119,95	18.501,03
Air	390,7514	91,70	35.833,54
Abu	112,1795	0,35	39,66
Protein	194,0890	1,50	290,34
Lemak	191,7230	0,68	130,36

Asumsi: $Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{steam}}$

$$Q_{\text{masuk}} + Q_{\text{steam}} = Q_{\text{keluar}} + Q_{\text{loss}}$$

$$3.538,81 \text{ kJ} + Q_{\text{steam}} = 66.701,10 \text{ kJ} + 10\% Q_{\text{steam}}$$

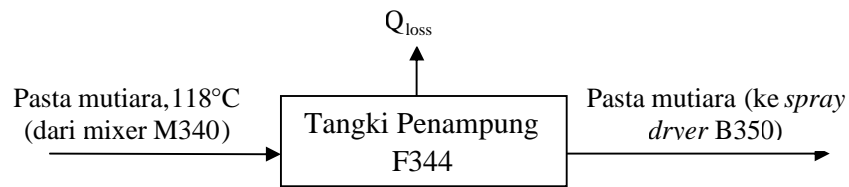
$$Q_{\text{steam}} = 70.180,32 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{coil}} = 7.018,03 \text{ kJ}$$

Neraca panas pada proses *mixing*:

Masuk (kJ)		Keluar (kJ)	
Dari storage F310		Ke tangki penampung F344	
Caramel:	1.282,80	Pasta mutiara:	66.701,10
Gula pasir	608,11	Gula pasir	11.906,16
Air	674,69	Karbohidrat	18.501,03
Dari mixer M330		Air	35.833,54
Tapioca starch	2.079,01	Abu	39,66
Karbohidrat	910,90	Protein	290,34
Air	1.145,17	Lemak	130,36
Abu	1,92	Q_{loss}	7.018,03
Protein	14,50		
Lemak	6,53		
Dari mixer M311			
Mutiara cair:	177,01		
Gula pasir	32,01		
Karbohidrat	47,94		
Air	95,85		
Abu	0,10		
Protein	0,76		
Lemak	0,34		
Q_{steam}	70.180,32		
Jumlah	73.719,13	Jumlah	73.719,13

2. Tangki Penampung F344



Neraca panas masuk tangki penampung:

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Pasta mutiara			
Gula pasir	116,7336	101,99	11.906,16
Karbohidrat	154,2456	119,95	18.501,03
Air	390,7514	91,70	35.833,54
Abu	112,1795	0,35	39,66
Protein	194,0890	1,50	290,34
Lemak	191,7230	0,68	130,36

Tout tidak diketahui. Oleh karena itu dicari dengan cara trial. Dari hasil trial didapatkan harga

Tout sebesar 109°C.

Neraca panas keluar tangki penampung:

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Pasta mutiara			
Gula pasir	105,20	101,99	10.729,85
Karbohidrat	138,59	119,95	16.623,15
Air	351,83	91,70	32.364,02
Abu	100,61	0,35	35,57
Protein	174,53	1,50	261,09
Lemak	172,52	0,68	117,31

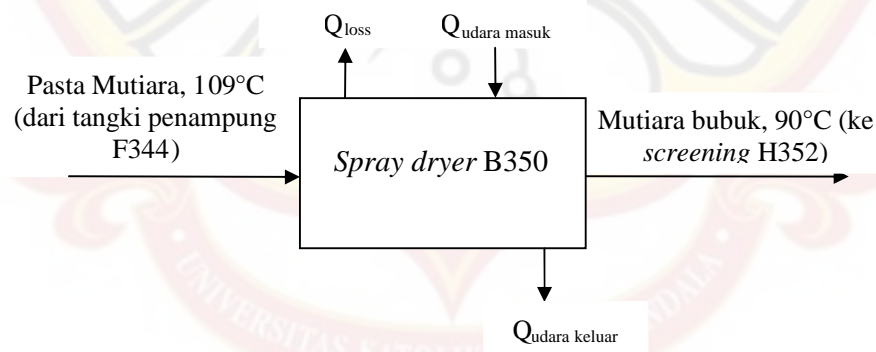
Asumsi: $Q_{loss} = 10\% Q_{masuk}$

$$Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{masuk}} = 6.670,11 \text{ kJ}$$

Neraca panas pada tangki penampung:

Masuk (kJ)		Keluar (kJ)	
Dari mixer M340		Ke spray dryer B350	
Pasta mutiara:	66.701,10	Pasta mutiara:	60.030,99
Gula pasir	11.906,16	Gula pasir	10.729,85
Karbohidrat	18.501,03	Karbohidrat	16.623,15
Air	35.833,54	Air	32.364,02
Abu	39,66	Abu	35,57
Protein	290,34	Protein	261,09
Lemak	130,36	Lemak	117,31
		Q_{loss}	6.670,11
Jumlah	66.701,10	Jumlah	66.701,10

3. Spray dryer B360



Panas masuk *spray dryer*

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Pasta mutiara			
Gula pasir	105,20	40,80	4.291,94

Karbohidrat	138,59	47,98	6.649,26
Air	351,83	36,68	12.905,61
Abu	100,61	0,14	14,23
Protein	174,53	0,60	104,43
Lemak	172,52	0,27	46,92

Panas keluar *spray dryer*

Komponen	Cp (kJ/kg)	m (kg)	Q (kJ)
Mutiara:			
Gula pasir	81,5880	40,80	3.328,60
Karbohidrat			5.122,18
Air	106,7608	47,98	756,48
Abu			10,92
Protein	272,4149	2,78	80,62
Lemak			36,27
	77,2059	0,14	
	134,7391	0,60	
	133,3379	0,27	

$$Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{udara panas masuk}} \quad [22]$$

Relative humidity di Indonesia rata-rata = 80% [23]

$$H_R = 80 = 100 \frac{P_a}{P_{as}} \quad \dots\dots\dots (B-1)$$

$T_o = 25^\circ\text{C}$ dan $P = 101,325 \text{ kPa}$, maka $P_{as} = 3,169 \text{ kPa}$ [21]

Substitusi $P_{as} = 3,169 \text{ kPa}$ ke persamaan (1), sehingga didapatkan:

$$P_a = \left(\frac{80}{100} \right) \cdot 3,169 \text{ kPa} = 2,5352 \text{ kPa}$$

Mencari *humidity* udara masuk *dryer* [21]

$$H_1 = \frac{18,02}{28,97} \cdot \left(\frac{Pa}{P - Pa} \right) = \frac{18,02}{28,97} \cdot \left(\frac{2,5352}{101,325 - 2,5352} \right)$$

$$= 0,0160 \text{ kg H}_2\text{O/kg udara kering}$$

Suhu udara masuk *dryer* = 125°C

Entalpi udara masuk *dryer*

$$Hg_1 = Cs.(T-To) + H_1.\lambda_o \quad \dots\dots\dots (B-2)$$

Di mana $Cs = 1,005 + 1,88 H_1$

λ_o pada $To = 25^\circ\text{C} = 2.442,31 \text{ kJ/kg}$ [21]

$$\begin{aligned} \text{Persamaan (2) menjadi } Hg_1 &= (1,005 + 1,88.H_1).(T-To) + H_1.\lambda_o \\ &= (1,005 + 1,88.0,0160) . (125 - 25) + 0,0160 . 2.442,31 \\ &= 142,49 \text{ kJ/kg udara kering} \end{aligned}$$

Suhu udara keluar *dryer* = 90 °C

Entalpi udara keluar *spray dryer*

$$\begin{aligned} Hg_2 &= (1,005 + 1,88.H_2).(T-To) + H_2.\lambda_o \\ &= (1,005 + 1,88 H_2).(85-25) + H_2.2.442,31 \\ &= 65,33 + 2.564,51.H_2 \text{ kJ/kg udara kering} \end{aligned}$$

Neraca massa air

$G.H_1 + \text{air dari bahan masuk} = G.H_2 + \text{air dari bahan keluar}$

$$G.0,0160 + 36,68 = G.H_2 + 2,78$$

$$G = \frac{33,90}{(H_2 - 0,0160)} \text{ kg/kg udara kering} \quad \dots\dots\dots (B-3)$$

Neraca panas total

$Q_{\text{udara masuk}} + Q_{\text{mutiara masuk}} = Q_{\text{udara keluar}} + Q_{\text{mutiara keluar}} + Q_{\text{loss}}$

$$G.Hg_1 + 24.012,40 = G.Hg_2 + 9.335,07 + 10\% . G.Hg_1$$

$$90\% . G.Hg_1 + 14.677,32 = G (65,33 + 2.564,51.H_2)$$

$$0,9 \cdot 142,49 G + 14.677,32 = G (65,33 + 2.564,51.H_2)$$

$$G (65,33 + 2.564,51.H_2 - 128,241) = 14.677,32$$

$$G = \frac{14.677,32}{(2.564,51.H_2 - 62,911)} \dots\dots\dots (B-4)$$

Dari persamaan (B-3) dan (B-4)

$$\frac{33,90}{(H_2 - 0,0160)} = \frac{14.677,32}{(2.564,51.H_2 - 62,911)}$$

$$H_2 = 0,0263 \text{ kg H}_2\text{O/kg udara kering}$$

$$Hg_2 = 65,33 + 2.564,51 \cdot 0,0263 = 132,70 \text{ kJ/kg udara kering}$$

$$G = \frac{14.677,32}{(2.564,51 \cdot 0,0263 - 62,911)} = 3.288,57 \text{ kg udara kering}$$

$$Q_{\text{udara masuk}} = G.Hg_1 = 3.288,57 \cdot 142,49 = 468.577,62 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{udara keluar}} = G.Hg_2 = 3.288,57 \cdot 132,70 = 436.397,18 \text{ kJ}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa udara masuk} &= (1+H_1).G = (1+0,0160) \cdot 3.288,57 \\ &= 3.341,06 \text{ kg} \end{aligned}$$

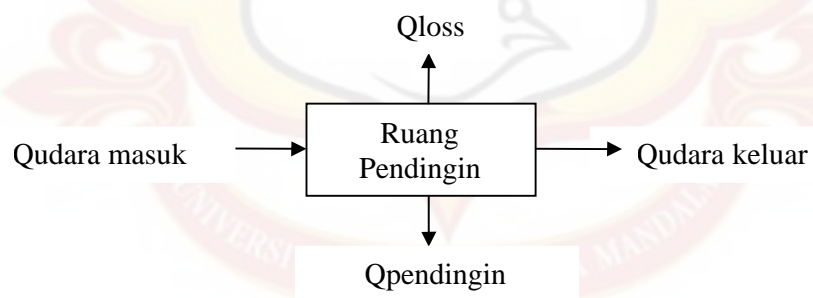
$$\begin{aligned} \text{Massa udara keluar} &= (1+H_2).G = (1+0,0263) \cdot 3.288,57 \\ &= 3.374,97 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{udara panas masuk}} = 46.857,76 \text{ kJ}$$

Neraca panas pada *spray dryer*:

Masuk (kJ)		Keluar (kJ)	
Dari tangki penampung F344		Ke screening H362	
Pasta Mutiara:		Mutiara bubuk:	9.335,07
	24.012,40	Gula pasir	3.328,60
Gula pasir	4.291,94	Karbohidrat	5.122,18
Karbohidrat	6.649,26	Air	756,48
Air	12.905,61	Abu	10,92
Abu	14,23	Protein	80,62
Protein	104,43	Lemak	36,27
Lemak	46,92	Q_{udara keluar}	436.397,18
Q_{udara masuk}	468.577,62	Q_{loss}	46.857,76
Jumlah	492.590,02	Jumlah	492.590,02

4. Ruang Pendingin



Dimensi tangki sirup gula aren (App. C) :

Kapasitas sirup gula aren = 880,95 kg/batch x 9 batch/hari = 7.928,52 kg/hari

ρ sirup gula aren = 1.580 kg/m³

Diameter tangki = 5,82 ft = 1,77 m; tinggi tangki = 13,20 ft

Sirup gula aren disimpan untuk 1 hari sehingga dibutuhkan 2 tangki untuk penyimpanan.

Diameter tangki untuk 2 buah tangki = $5,82 \text{ ft} \times 2 = 11,64 \text{ ft}$ (3,55 m)

Tinggi 2 buah tangki = tinggi 1 buah tangki = 13,20 ft (4,02 m)

Dimensi tangki penampung susu cair : (App. C)

Kapasitas susu cair = $7.010,75 \text{ kg/batch} \times 9 \text{ batch/hari} = 63.096,71 \text{ kg}$

ρ susu cair = 1.032 kg/m^3

Diameter tangki = 12,59 ft; tinggi tangki = 29,51 ft

Tangki penampung susu cair disimpan untuk 1 hari sehingga dibutuhkan 4 tangki untuk penyimpanan.

Diameter tangki untuk 2 buah tangki = $12,59 \text{ ft} \times 2 = 25,18 \text{ ft}$ (7,67 m)

Tinggi 2 buah tangki = tinggi 1 buah tangki = 29,51 ft (8,99 m)

Dimensi untuk ruang pendingin :

Ditetapkan : panjang ruang = 11 m

lebar ruang = 9 m

tinggi ruangan = 11 m

Volume ruangan = $11 \text{ m} \times 9 \text{ m} \times 11 \text{ m} = 1.089,00 \text{ m}^3$

Masuk :

ρ udara pada suhu $30^\circ\text{C} = 1,17 \text{ kg/m}^3$

massa udara = $1,17 \text{ kg/m}^3 \times 1.089,00 \text{ m}^3 = 1.271,50 \text{ kg}$

Humidity udara 80% dengan suhu udara masuk 30°C didapat H, humidity=0,03 [21, pp 568]

$C_s = 1,005 + 1,88 \times 0,03 = 1,0661 \text{ kJ/kg K}$

Qudara masuk = $1.271,50 \text{ kg} \times 1,0661 \text{ kJ/kg K} \times (30 - 25) \text{ K} = 6.777,72 \text{ kJ}$

Keluar :

ρ udara pada suhu $4^\circ\text{C} = 1,27 \text{ kg/m}^3$

massa udara = $1,27 \text{ kg/m}^3 \times 1.089,00 \text{ m}^3 = 1.387,60 \text{ kg}$

Humidity udara 30% dengan suhu udara keluar 4°C didapat H, humidity = 0,0025 [21, pg 568]

$C_s = 1,005 + 1,88 \times 0,0025 = 1,0097 \text{ kJ/kg K}$

Qudara keluar = $1.387,60 \text{ kg} \times 1,0097 \text{ kJ/kg K} \times (4 - 25) \text{ K} = -29.422,23 \text{ kJ}$

Asumsi $Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{pendingin}}$

$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar}}$

Qudara masuk = Qudara keluar + Q_{loss} + $Q_{\text{pendingin}}$

$6.777,72 \text{ kJ} = -29.422,23 \text{ kJ} + 10\% Q_{\text{pendingin}} + Q_{\text{pendingin}}$

$Q_{\text{pendingin}} = 32.909,14 \text{ kJ}$

$Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{pendingin}} = 3.290,91 \text{ kJ}$

Masuk (kJ)		Keluar (kJ)	
Qudara masuk	6.777,72	Qudara keluar	-29.422,33
		Qloss	3.290,91
		Qpendingin	32.909,14
Jumlah	6.777,72	Jumlah	6.777,72

PERHITUNGAN SPESIFIKASI PERALATAN

Technical drawing of a rectangular floor plan. The overall dimensions are 13 m by 13 m. The plan is divided into four quadrants by a horizontal and a vertical line, each 4 m from the center. In the bottom-right quadrant, there is a rectangular table (5 m by 2 m) and a chair (0,5 m wide). The table is positioned 2 m from the bottom and right walls, and 5 m from the left wall. The chair is positioned 0,5 m from the right wall. The top-left quadrant is empty.

Tinggi karung:

$$= \frac{\text{massa 1 karung}}{\text{panjang karung} \times \text{lebar karung} \times \rho \text{ daun teh}}$$

$$= \frac{25 \text{ kg}}{1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 206 \text{ kg/m}^3}$$

$$= 0,25 \text{ m}$$

Ditetapkan:

Panjang tumpukan karung = 5 karung \approx 5 m

Lebar tumpukan karung = 6 karung \approx 3 m

$$\text{Jumlah karung} = \frac{\text{daun yang disimpan}}{\text{massa 1 karung}}$$

$$= \frac{5.434,63 \text{ kg}}{25 \text{ kg}}$$

$$= 217,39 \text{ karung} \approx 218 \text{ karung}$$

Tinggi tumpukan karung:

$$= \frac{\text{jumlah karung}}{\text{panjang tumpukan karung} \times \text{lebar tumpukan karung}}$$

$$= \frac{218 \text{ karung}}{5 \text{ karung} \times 6 \text{ karung}}$$

$$= 7,27 \text{ karung} \approx 8 \text{ karung} \approx 1,94 \text{ m}$$

Dimensi *warehouse* daun teh kering:

Sirkulasi udara = 3 m

Panjang = 5 m + 4 m + 4 m = 13 m

Lebar = 3 m + 4 m + 4 m + 2 m = 13 m

Tinggi = 1,94 m + 3 m = 4,94 m \approx 5 m

Kayu untuk alas di warehouse bahan baku

Dimensi kayu per buah :

Panjang = 1 m

Lebar = 15 cm

Tinggi = 15 cm

Ditetapkan : alas kayu untuk warehouse bahan baku sebanyak 4 batang kayu (atas) dan 2 batang kayu (bawah) per tumpukan karung.

Jumlah tumpukan karung dalam warehouse = 30 tumpukan karung

Jumlah kayu yang dibutuhkan = 30×6 batang kayu
= 180 batang kayu

Exhaust fan

Fungsi : sebagai sirkulasi pertukaran udara

Spesifikasi :

Bahan : stainless steel

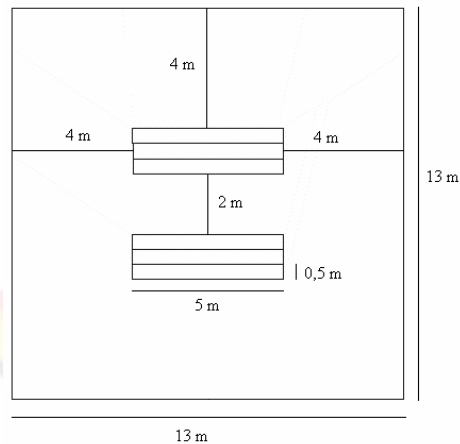
Pertukaran udara : $520 \text{ m}^3/\text{jam}$

Power : 250 Watt

Dimensi : 90 x 50 x 15 cm

Jumlah : 1 buah

2. Gudang penyimpanan bahan baku dekstrin (F150)



Fungsi : menyimpan bahan baku berupa dekstrin selama 6 hari.

Waktu tinggal = 6 hari

$T_{\text{operasi}} = 30^{\circ}\text{C}$

Dekstrin yang harus disimpan:

$$= 264,28 \text{ kg/batch} \times 9 \text{ batch/hari} \times 6 \text{ hari}$$

$$= 14.217,34 \text{ kg}$$

bulk density dekstrin = 1.450 kg/m^3 [26]

Diketahui:

Massa 1 karung = 25 kg

Panjang 1 karung = 1 m

Lebar 1 karung = 0,5 m

Tinggi karung:

$$= \frac{\text{massa 1 karung}}{\text{panjang karung} \times \text{lebar karung} \times \rho \text{ dekstrin}}$$

$$= \frac{25 \text{ kg}}{1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 1.450 \text{ kg/m}^3} = 0,03 \text{ m}$$

Ditetapkan:

Panjang tumpukan karung = 5 karung $\approx 5 \text{ m}$

Lebar tumpukan karung = 6 karung \approx 3 m

$$\text{Jumlah karung} = \frac{\text{dekstrin yang disimpan}}{\text{massa 1 karung}}$$

$$= \frac{14.271,34 \text{ kg}}{25 \text{ kg}}$$

$$= 570,85 \text{ karung} \approx 571 \text{ karung}$$

Tinggi tumpukan karung:

$$= \frac{\text{jumlah karung}}{\text{panjang tumpukan karung} \times \text{lebar tumpukan karung}}$$

$$= \frac{571 \text{ karung}}{5 \text{ karung} \times 6 \text{ karung}}$$

$$= 19,03 \text{ karung} \approx 20 \text{ karung} \approx 0.69 \text{ m}$$

Dimensi *warehouse* dekstrin:

Sirkulasi udara = 3 m

$$\text{Panjang} = 5 \text{ m} + 4 \text{ m} + 4 \text{ m} = 13 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 3 \text{ m} + 4 \text{ m} + 4 \text{ m} + 2 \text{ m} = 13 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 0,69 \text{ m} + 4 \text{ m} = 4,69 \text{ m} \approx 5 \text{ m}$$

Kayu untuk alas di warehouse bahan baku

Dimensi kayu per buah :

$$\text{Panjang} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 15 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi} = 15 \text{ cm}$$

Ditetapkan : alas kayu untuk warehouse bahan baku sebanyak 4 batang kayu (atas) dan 2 batang kayu (bawah) per tumpukan karung.

Jumlah tumpukan karung dalam warehouse = 30 tumpukan karung

Jumlah kayu yang dibutuhkan = 30 x 6 batang kayu

= 180 batang kayu

Exhaust fan

Fungsi : sebagai sirkulasi pertukaran udara

Spesifikasi :

Bahan : stainless steel

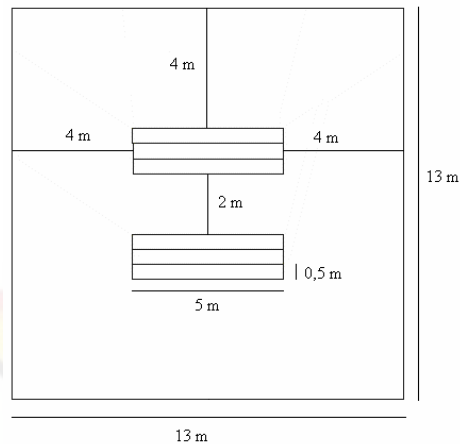
Pertukaran udara : 520 m³/jam

Power : 250 Watt

Dimensi : 90 x 50 x 15 cm

Jumlah : 1 buah

3. Gudang bahan baku *Tapioca starch* (F320)



Fungsi : menyimpan bahan baku berupa tapioca starch selama 6 hari.

Waktu tinggal = 6 hari

$T_{\text{operasi}} = 30^{\circ}\text{C}$

Tapioka starch yang harus disimpan:

$$= 134,85 \text{ kg/batch} \times 9 \text{ batch/hari} \times 6 \text{ hari}$$

$$= 7.281,90 \text{ kg}$$

bulk density tapioka starch = 600 kg/m^3 [27]

Diketahui:

Massa 1 karung = 25 kg

Panjang 1 karung = 1 m

Lebar 1 karung = 0,5 m

Tinggi karung:

$$= \frac{\text{massa 1 karung}}{\text{panjang karung} \times \text{lebar karung} \times \rho \text{ tapioca starch}}$$

$$= \frac{25 \text{ kg}}{1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 600 \text{ kg/m}^3} = 0,08 \text{ m}$$

Ditetapkan:

Panjang tumpukan karung = 5 karung $\approx 5 \text{ m}$

Lebar tumpukan karung = 6 karung \approx 3 m

$$\text{Jumlah karung} = \frac{\text{tapioca starch yang disimpan}}{\text{massa 1 karung}}$$

$$= \frac{7.281,90 \text{ kg}}{25 \text{ kg}}$$

$$= 291,28 \text{ karung} \approx 292 \text{ karung}$$

Tinggi tumpukan karung:

$$= \frac{\text{jumlah karung}}{\text{panjang tumpukan karung} \times \text{lebar tumpukan karung}}$$

$$= \frac{292 \text{ karung}}{5 \text{ karung} \times 6 \text{ karung}}$$

$$= 9,73 \text{ karung} \approx 10 \text{ karung} \approx 0,83 \text{ m}$$

Dimensi *warehouse* daun teh kering:

Sirkulasi udara = 3 m

$$\text{Panjang} = 5 \text{ m} + 4 \text{ m} + 4 \text{ m} = 13 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 3 \text{ m} + 4 \text{ m} + 4 \text{ m} + 2 \text{ m} = 13 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 0,83 \text{ m} + 4 \text{ m} = 4,83 \text{ m} \approx 5 \text{ m}$$

Kayu untuk alas di warehouse bahan baku

Dimensi kayu per buah :

$$\text{Panjang} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 15 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi} = 15 \text{ cm}$$

Ditetapkan :

- alas kayu untuk warehouse bahan baku sebanyak 4 batang kayu (atas) dan 2 batang kayu (bawah) per tumpukan karung.

Jumlah tumpukan karung dalam warehouse = 30 tumpukan karung

Jumlah kayu yang dibutuhkan = 30×6 batang kayu
 = 180 batang kayu

Exhaust fan

Fungsi : sebagai sirkulasi pertukaran udara

Spesifikasi :

Bahan : stainless steel

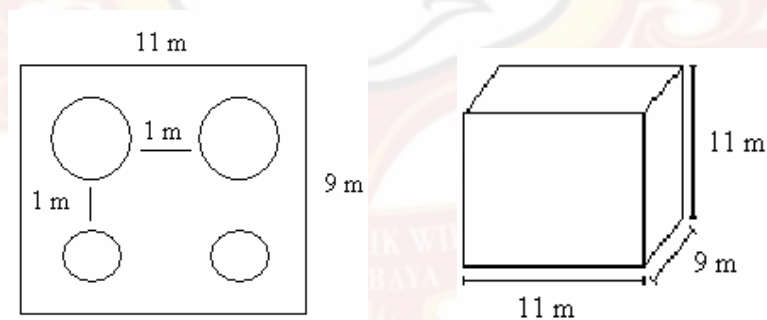
Pertukaran udara : $520 \text{ m}^3/\text{jam}$

Power : 250 Watt

Dimensi : $90 \times 50 \times 15 \text{ cm}$

Jumlah : 1 buah

4. Ruang Pendingin



Nama alat : ruang pendingin

Fungsi : untuk menyimpan sirup gula aren dan susu cair selama 1 hari

Tipe : ruangan yang dilengkapi dengan udara dingin

Perhitungan :

Dimensi tangki sirup gula aren :

Kapasitas sirup gula aren = $880,95 \text{ kg/batch} \times 9 \text{ batch/hari} = 7.928,52 \text{ kg/hari}$

ρ sirup gula aren = 1.580 kg/m^3

Diameter tangki = $5,82 \text{ ft} = 1,77 \text{ m}$; tinggi tangki = $13,20 \text{ ft}$

Sirup gula aren disimpan untuk 1 hari sehingga dibutuhkan 2 tangki untuk penyimpanan.

Diameter tangki untuk 2 buah tangki = $5,82 \text{ ft} \times 2 = 11,64 \text{ ft} (3,55 \text{ m})$

Tinggi 2 buah tangki = tinggi 1 buah tangki = $13,20 \text{ ft} (4,02 \text{ m})$

Dimensi tangki penampung susu cair : (App. C)

Kapasitas susu cair = $7.010,75 \text{ kg/batch} \times 9 \text{ batch/hari} = 63.096,71 \text{ kg}$

ρ susu cair = 1.032 kg/m^3

Diameter tangki = $12,59 \text{ ft}$; tinggi tangki = $29,51 \text{ ft}$

Tangki penampung susu cair disimpan untuk 1 hari sehingga dibutuhkan 4 tangki untuk penyimpanan.

Diameter tangki untuk 2 buah tangki = $12,59 \text{ ft} \times 2 = 25,18 \text{ ft} (7,67 \text{ m})$

Tinggi 2 buah tangki = tinggi 1 buah tangki = $29,51 \text{ ft} (8,99 \text{ m})$

Dimensi untuk ruang pendingin :

Ditetapkan : panjang ruang = 11 m

lebar ruang = 9 m

tinggi ruangan = 11 m

Dimensi Ruangan : Panjang = 11 m

Lebar = 9 m

Tinggi = 11 m

Volume ruangan = $11 \text{ m} \times 9 \text{ m} \times 11 \text{ m} = 1.089,00 \text{ m}^3$

Spesifikasi :

Nama alat : Ruang pendingin

Fungsi : untuk menyimpan sirup gula aren dan susu cair selama 3 hari

Dimensi : Panjang = 11 m

Lebar = 9 m

Tinggi = 11 m

Volume : 1.089,00 m³

5. Tangki Penampung Susu Cair F213 (dalam Ruang Pendingin)

Fungsi : untuk menampung susu cair sementara dalam ruang pendingin

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis

Dasar pemilihan : cocok untuk menampung bahan yang berbentuk cair

Kondisi operasi : T = 30°C

$$\rho \text{ susu cair} = 1.032 \text{ kg/m}^3 = 64,43 \text{ lbm/ft}^3$$

Perhitungan :

Susu cair disimpan untuk persediaan selama 3 hari yang dibagi dalam 3 tangki. Berikut ini

perhitungan satu tangki penampung susu cair :

$$\text{Massa susu cair} = 7.010,75 \text{ kg/batch} \times 9 \text{ batch/hari} = 63.096,71 \text{ kg/batch}$$

$$\text{Volume susu cair total} = \frac{63.096,71 \text{ kg}}{1.032 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 61,14 \text{ m}^3 = 2.159,07 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume susu cair total, sehingga:

Volume tangki penampung = 1,3 volume susu cair total

$$= 1,3 \times 2.159,07 \text{ ft}^3 = 2.806,79 \text{ ft}^3$$

Ditetapkan : tinggi shell (Ht) = 1,5 diameter shell (Dt) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^\circ [28]$$

Diameter nozzle (Dn) yang digunakan 4 inchi = 0,33 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times Dt^2 \times Ht = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3$$

Hn = tinggi nozzle; Hk = tinggi konis

$$Hn = \frac{Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha} \text{ dan } Hk = \frac{Dt}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - Hn = \frac{Dt}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - \frac{Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{Dt - Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dt^2 \times (Hk + Hn) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dn^2 \times Hn \\ &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dt^2 \times \left(\frac{Dt - Dn}{2 \cdot \text{tg } 30} + \frac{Dn}{2 \cdot \text{tg } 30} \right) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dn^2 \times \frac{Dn}{2 \cdot \text{tg } 30} \\ &= \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg } 30} (Dt^3 - Dn^3) \end{aligned}$$

Volume tangki = volume shell + volume konis

$$2.806,79 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3 + \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg } 30} (Dt^3 - Dn^3)$$

$$2.806,79 \text{ ft}^3 = 1,1775 Dt^3 + 0,23 Dt^3 - 0,0081$$

$$Dt = 12,59 \text{ ft}$$

$$Ht = 1,5 Dt = 1,5 \times 12,59 \text{ ft} = 18,89 \text{ ft}$$

$$Hn = \frac{Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{0,33}{2 \cdot \text{tg } 30} = 0,29 \text{ ft}$$

$$Hk = \frac{Dt}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - Hn = \frac{12,59}{2 \cdot \text{tg } 30} - 0,29 = 10,62 \text{ ft}$$

$$H_{\text{total}} = H_t + H_k = (18,89 + 10,62) \text{ ft} = 29,51 \text{ ft}$$

$$\text{Volume larutan dalam konis} = \frac{\pi}{24tg30} (Dt^3 - Dn^3)$$

$$= \frac{\pi}{24tg30} (12,59^3 - 0,33^3) = 1.706,09 \text{ ft}^3$$

Volume larutan dalam tangki = volume larutan dalam *shell* + volume larutan dalam konis

$$2.159,07 \text{ ft}^3 = \text{volume larutan dalam } shell + 1.706,09 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam } shell = 1.706,09 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam } shell = (\pi/4) \times H_L \times Dt^2$$

$$1.706,09 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (12,59 \text{ ft})^2$$

$$\text{Tinggi larutan dalam shell } (H_L) = 13,69 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi larutan dalam tangki } (Z_t) = H_L + H_k = (13,69 + 10,62) \text{ ft} = 24,31 \text{ ft}$$

Tekanan operasi tangki

$$\text{Tekanan udara} = 1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psia}$$

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{64,43 \times 24,31}{144} = 10,88 \text{ psia} [28, \text{Eq. 3.17}]$$

$$\text{Tekanan operasi alat} = \text{tekanan udara} + \text{tekanan hidrostatik}$$

$$= (14,70 + 10,88) \text{ psia} = 25,57 \text{ psia}$$

$$P_{\text{desain}} = 1,5 \times P_{\text{operasi}} = 1,5 \times 25,57 \text{ psia} = 38,36 \text{ psia} = 2,61 \text{ atm}$$

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah *stainless steel-316L*

- f_{all} = allowable stress = 23.000 lb/in²
- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, p.254, tabel 13.2)
- c = corrosion allowance = (1/8) = 0,125 in

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi) = 38,36 psia

D = *inside diameter* (in) = 12,59 ft = 151,14 in

f = *allowable working stress* (psi) = 23000 psia

E = *joint efficiency* = 0,8

c = *corrosion allowance* = 0,125

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{38,36 \text{ psia} \times 151,14 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,28 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 5/16 \text{ in}$$

Tebal tutup konis

$$\begin{aligned} \text{Tebal konis} &= \frac{P D}{2 \cdot \cos \alpha (f E - 0,6 P)} + c \\ &= \frac{38,36 \text{ psia} \times 151,14 \text{ in}}{2 \cos 30 (23000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 38,36 \text{ psia})} + 0,125 \\ &= 0,31 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 5/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama : tangki penampung

Fungsi : untuk menampung susu cair sementara dalam ruang pendingin

Bahan konstruksi : *stainless steel-316L*

Kapasitas : 2.806,79 ft³

Diameter tangki : 12,59 ft

Tinggi shell : 18,89 ft

Tinggi konis : 10,62 ft

Tinggi tangki total : 29,51 ft

Tebal shell : 5/16 in

Tebal head : 5/16 in

Tebal konis : 5/16 in

Jumlah : 2 buah

6. Tangki Penampung Sirup Gula Aren F161 (dalam Ruang Pendingin)

Fungsi : untuk menampung sirup gula aren sementara dalam ruangan pendingin

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis

Dasar pemilihan : cocok untuk menampung bahan baku yang berbentuk pasta

Kondisi operasi : $T = 30^{\circ}\text{C}$

Perhitungan :

Sirup gula aren disimpan untuk persediaan selama 3 hari yang dibagi dalam 3 tangki.

Berikut ini perhitungan satu tangki penampung gula aren :

Massa air masuk = $286,31 \text{ kg/batch} \times 9 \text{ batch/hari} = 2.576,77 \text{ kg/hari}$

Massa aren solid = $594,64 \text{ kg/batch} \times 9 \text{ batch/hari} = 5.351,75 \text{ kg/hari}$

Massa total = $7.928,52 \text{ kg/hari}$

$$\text{Fraksi air} = \frac{2.576,77}{2.576,77 + 5.351,75} = 0,33$$

$$\text{Fraksi aren solid} = \frac{5.351,75}{2.576,77 + 5.351,75} = 0,68$$

ρ aren solid = 1.580 kg/m^3

ρ air = 1000 kg/m^3

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\left[\frac{0,33}{1000} + \frac{0,68}{1.580} \right]} = 1.329,41 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volume campuran total} = \frac{7.982,52 \text{ kg}}{1.329,41 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 5,96 \text{ m}^3 = 210,61 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume campuran total, sehingga:

$$\text{Volume tangki penampung} = 1,3 \times 210,61 \text{ ft}^3 = 273,79 \text{ ft}^3$$

Ditetapkan : tinggi shell (H_t) = 1,5 diameter shell (D_t) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^\circ \text{ [28]}$$

Diameter nozzle (D_n) yang digunakan 4 inchi = 0,33 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times D_t^2 \times H_t = (\pi/4) \times 1,5 \times D_t^3$$

H_n = tinggi nozzle; H_k = tinggi konis

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } \alpha} \text{ dan } H_k = \frac{D_t}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - H_n = \frac{D_t}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{D_t - D_n}{2 \cdot \text{tg } \alpha}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_t^2 \times (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times H_n \\ &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_t^2 \times \left(\frac{D_t - D_n}{2 \cdot \text{tg } 30} + \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } 30} \right) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } 30} \\ &= \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg } 30} (D_t^3 - D_n^3) \end{aligned}$$

Volume tangki = volume *shell* + volume konis

$$273,79 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times D_t^3 + \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg } 30} (D_t^3 - D_n^3)$$

$$273,79 \text{ ft}^3 = 1,1775 D_t^3 + 0,23 D_t^3 - 0,0081$$

$$D_t = 5,80 \text{ ft}$$

$$H_t = 1,5 D_t = 1,5 \times 5,80 \text{ ft} = 8,70 \text{ ft}$$

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{0,33}{2 \cdot \text{tg } 30} = 0,29 \text{ ft}$$

$$H_k = \frac{D_t}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - H_n = \frac{5,80}{2 \cdot \text{tg } 30} - 0,29 = 4,73 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi tangki total} = H_t + H_k = (8,70 + 4,73) \text{ ft} = 13,43 \text{ ft}$$

$$\text{Volume larutan konis} = \frac{\pi}{24 \tan 30} (D_t^3 - D_n^3) = \frac{\pi}{24 \tan 30} (5,80^3 - 0,33^3) = 44,18 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam tangki} = \text{volume larutan dalam shell} + \text{volume larutan dalam konis}$$

$$210,61 \text{ ft}^3 = \text{volume air dalam shell} + 44,18 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = 166,43 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = (\pi/4) \times H_L \times D_t^2$$

$$166,43 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (5,80 \text{ ft})^2$$

$$\text{Tinggi larutan dalam shell } (H_L) = 6,30 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi larutan dalam tangki } (Z_t) = H_L + H_k = (6,30 + 4,73) \text{ ft} = 11,04 \text{ ft}$$

Tekanan operasi tangki

$$\text{Tekanan udara} = 1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psia}$$

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{82,99 \times 11,04}{144} = 6,36 \text{ psia [28, Eq. 3.17]}$$

$$\text{Tekanan operasi alat} = \text{tekanan udara} + \text{tekanan hidrostatik}$$

$$= (14,70 + 6,36) \text{ psia} = 21,06 \text{ psia}$$

$$P_{\text{desain}} = 1,5 \times P_{\text{operasi}} = 1,5 \times 21,06 \text{ psia} = 31,59 \text{ psia} = 2,15 \text{ atm}$$

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah stainless steel-316L

- f_{all} = allowable stress = 23.000 lb/in²
- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, p.254, tabel 13.2)
- c = corrosion allowance = (1/8) = 0,125 in

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : t_s = thickness of shell (in)

P = internal design pressure (psi) = 31,59 psia

D = inside diameter (in) = 5,80 ft = 69,57 in

f = allowable working stress (psi) = 23000 psia

E = joint efficiency = 0,8

c = corrosion allowance = 0,125

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{31,59 \text{ psia} \times 69,57 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,18 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup konis

$$\begin{aligned} \text{Tebal konis} &= \frac{P.D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c \\ &= \frac{31,59 \text{ psia} \times 69,57 \text{ in}}{2 \cos 30 (23000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 31,59 \text{ psia})} + 0,125 \\ &= 0,19 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama : tangki penampung gula aren

Fungsi : untuk menampung sirup gula aren sementara

Bahan konstruksi : stainless steel-316L

Kapasitas : 273,79 ft³

Diameter tangki : 5,80 ft

Tinggi shell : 8,70 ft

Tinggi konis : 4,73 ft

Tinggi tangki total : 13,43 ft

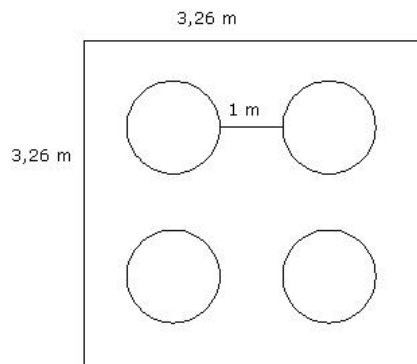
Tebal shell : 3/16 in

Tebal head : 3/16 in

Tebal konis : 3/16 in

Jumlah : 3 buah

7. Warehouse bahan baku *caramel*



Nama alat : *warehouse caramel*

Fungsi : untuk menyimpan *caramel* selama 3 hari

Perhitungan :

Dimensi tangki sirup *caramel* :

Kapasitas *caramel* = $1.223,93 \text{ kg/hari} \times 3 \text{ hari} = 3.671,79 \text{ kg}$

ρ sirup *caramel* = $1.377,85 \text{ kg/m}^3$

Diameter tangki = $3,07 \text{ ft} = 0,94 \text{ m}$

Tinggi tangki = $6,98 \text{ ft} = 2,13 \text{ m}$

Caramel disimpan untuk 3 hari sehingga dibutuhkan 3 tangki untuk penyimpanan, dan 1 tangki untuk cadangan saat pembersihan dan pengisian.

Dimensi untuk ruang pendingin :

Jarak antar tangki ditetapkan 1 meter.

Ruang kosong ditetapkan 20% dari diameter total tangki.

$$\text{Panjang ruang} = \left(\frac{100\%}{80\%} \times 2 \times 0,94 \right) + 1 = 3,26 \text{ meter}$$

$$\text{Lebar ruang} = \left(\frac{100\%}{80\%} \times 2 \times 0,94 \right) + 1 = 3,26 \text{ meter}$$

Tinggi ruangan ditetapkan 5 meter.

Dimensi Ruangan : Panjang = 3,26 m

Lebar = 3,26 m

Tinggi = 5 m

Spesifikasi :

Nama alat : *warehouse caramel*

Fungsi : untuk menyimpan *caramel* selama 3 hari

Dimensi : Panjang = 3,26 m

Lebar = 3,26 m

Tinggi = 5 m

8. Tangki Penampung Caramel (F311) dalam gudang bahan baku

Fungsi : untuk menampung *caramel* sementara

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis.

Dasar pemilihan : cocok untuk menampung bahan baku yang berbentuk cairan pekat.

Kondisi operasi : $T = 30^{\circ}\text{C}$

Perhitungan :

Massa air masuk = 305,98 kg

Massa gula pasir = 917,95 kg

Massa total = 1.223,93 kg

$$\text{Fraksi air} = \frac{305,98}{305,98 + 917,95} = 0,25$$

$$\text{Fraksi gula pasir} = \frac{917,95}{305,98 + 917,95} = 0,75$$

$$\rho \text{ gula pasir} = 1.580 \text{ kg/m}^3$$

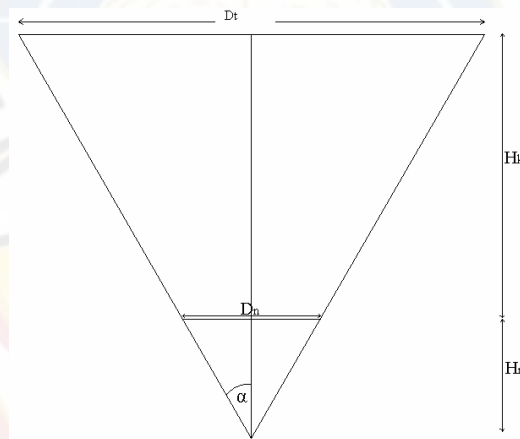
$$\rho \text{ air} = 995,68 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\left[\frac{0,25}{995,68} + \frac{0,75}{1.580} \right]} = 1.377,85 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volume campuran total} = \frac{1.23,93 \text{ kg}}{1.377,85 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,89 \text{ m}^3 = 31,37 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume campuran total, sehingga:

$$\text{Volume tangki penampung} = 1,3 \times 31,37 \text{ ft}^3 = 40,78 \text{ ft}^3$$



Ditetapkan : tinggi shell (H_t) = 1,5 diameter shell (D_t) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^\circ \text{ [28]}$$

Diameter nozzle (D_n) yang digunakan 4 inchi = 0,33 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times D_t^2 \times H_t = (\pi/4) \times 1,5 \times D_t^3$$

H_n = tinggi nozzle; H_k = tinggi konis

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} \text{ dan } H_k = \frac{D_t}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{D_t}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{D_t - D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \pi x \frac{D_t^2}{4} x (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \pi x \frac{D_n^2}{4} x H_n \\ &= \frac{1}{3} \pi x \frac{D_t^2}{4} x \left(\frac{D_t - D_n}{2 \tan 30} + \frac{D_n}{2 \tan 30} \right) - \frac{1}{3} \pi x \frac{D_n^2}{4} x \frac{D_n}{2 \tan 30} \\ &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (D_t^3 - D_n^3) \end{aligned}$$

Volume tangki = volume *shell* + volume konis

$$40,78 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times D_t^3 + \frac{\pi}{24 \tan 30} (D_t^3 - D_n^3)$$

$$40,78 \text{ ft}^3 = 1,1775 D_t^3 + 0,23 D_t^3 - 0,0081$$

$$D_t = 3,07 \text{ ft}$$

$$H_t = 1,5 D_t = 1,5 \times 3,07 \text{ ft} = 4,61 \text{ ft}$$

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{0,33}{2 \tan 30} = 0,29 \text{ ft}$$

$$H_k = \frac{D_t}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{3,07}{2 \tan 30} - 0,29 = 2,37 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi tangki total} = H_t + H_k = (4,61 + 2,37) \text{ ft} = 6,98 \text{ ft}$$

$$\text{Volume larutan konis} = \frac{\pi}{24 \tan 30} (D_t^3 - D_n^3) = \frac{\pi}{24 \tan 30} (3,07^3 - 0,33^3) = 6,57 \text{ ft}^3$$

Volume larutan dalam tangki = volume larutan dalam *shell* + volume larutan dalam konis

$$31,37 \text{ ft}^3 = \text{volume air dalam } shell + 6,57 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam } shell = 24,79 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = (\pi/4) \times H_L \times D_t^2$$

$$24,79 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (3,07 \text{ ft})^2$$

Tinggi larutan dalam shell (H_L) = 3,34 ft

Tinggi larutan dalam tangki (Z_t) = $H_L + H_k = (3,34 + 2,37)$ ft = 5,71 ft

Tekanan operasi tangki

Tekanan udara = 1 atm = 14,70 psia

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{86,02 \times 5,71}{144} = 3,41 \text{ psia [28, Eq. 3.17]}$$

Tekanan operasi alat = tekanan udara + tekanan hidrostatik

$$= (14,70 + 3,41) \text{ psia} = 18,11 \text{ psia}$$

P desain = 1,5 x P operasi = 1,5 x 18,11 psia = 27,16 psia = 1,85 atm

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah stainless steel-316L

- f_{all} = allowable stress = 23.000 lb/in²
- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, p.254, tabel 13.2)
- c = corrosion allowance = (1/8) = 0,125 in

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi) = 27,16 psia

D = *inside diameter* (in) = 3,07 ft = 36,88 in

f = *allowable working stress* (psi) = 23000 psia

E = *joint efficiency* = 0,8

c = *corrosion allowance* = 0,125

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{27,16 \text{ psia} \times 36,88 \text{ in}}{2 \times 23.000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,15 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup konis

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal konis} &= \frac{P.D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c \\
 &= \frac{27,16 \text{ psia} \times 36,88 \text{ in}}{2 \cos 30 \times (23.000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 27,16 \text{ psia})} + 0,125 \\
 &= 0,16 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama : tangki penampung *caramel*

Fungsi : untuk menampung *caramel* sementara

Bahan konstruksi : *stainless steel-316L*

Kapasitas : 40,78 ft³

Diameter tangki : 3,07 ft

Tinggi shell : 4,61 ft

Tinggi konis : 2,37 ft

Tinggi tangki total : 6,98 ft

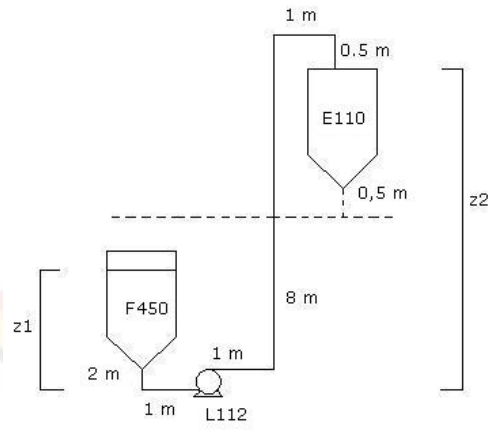
Tebal shell : 3/16 in

Tebal head : 3/16 in

Tebal konis : 3/16 in

Jumlah : 4 buah

9. Pompa L112



Fungsi: mengalirkan air dari tangki penampung air bersih F450 ke tangki pemanas E110

Perhitungan:

Pompa bekerja 15 menit/batch

$$\text{Rate volumetrik} = 3,888 \frac{m^3}{\text{batch}} \approx 0,0043 \frac{m^3}{s} \approx 68,48 \text{ gal/min}$$

$$\rho_{\text{air}} = 995,68 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu_{\text{air}} = 0,8007 \times 10^{-3} \frac{kg}{m.s}$$

Trial : aliran turbulen, sehingga :

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad [30]$$

$$\text{dimana, } Q = \text{debit } \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$\rho = \text{densitas } \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times 0,0043^{0,45} \times 995,68^{0,13} = 0,0769 \text{ m} \approx 3,0258 \text{ in}$$

Dipilih *steel pipe* (IPS) untuk *comercial steel* berukuran 3 in sch 40 :

$$ID = 77,92 \text{ mm} \approx 0,0779 \text{ m}$$

$$OD = 88,9 \text{ mm} \approx 0,0889 \text{ m}$$

$$A = 0,0048 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} \approx \frac{0,0043 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0048 \text{ m}^2} = 0,906 \text{ m/s}$$

Cek Trial :

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{995,68 \text{ kg/m}^3 \times 0,0779 \text{ m} \times 0,906 \text{ m/s}}{0,8007 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}} = 87.790,7156 \text{ (turbulen)}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad [21]$$

Perhitungan Friksi :

a. Pipa lurus

$$F_f = \frac{4 \times f \times \Delta L \times v^2}{2 \times ID} \quad [21]$$

Pipa *commercial steel*, $\epsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$

$$\epsilon/ID = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,0779} = 0,00059$$

$$N_{re} = 87.790,7156$$

Dari Geankoplis (ϵ/ID vs N_{re}), diperoleh $f = 0,0060$

$$\Delta L = 33 \text{ m}$$

$$F_f = \frac{4 \times 0,0055 \times 33 \text{ m} \times (0,906 \text{ m/s})^2}{2 \times 0,0779 \text{ m}} = 4,1720 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

b. *Sudden contraction*

$$h_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

$$\begin{aligned} h_c &= 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} = 0,55 \times \left(1 - \frac{0,0048}{0,0081}\right) \times \frac{\left(0,906 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 1} \\ &= 0,0928 \frac{m^2}{s^2} \end{aligned}$$

c. *Sudden enlargement*

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

$$h_{ex} = \frac{v^2}{2\alpha} = \frac{\left(0,906 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 1} = 0,4105 \frac{m^2}{s^2}$$

d. Friksi untuk elbow 90°

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 0,75 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,75 \times \frac{(0,906 \text{ m/s})^2}{2} = 0,3078 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Digunakan 4 elbow 90°

$$hf = 4 \times 0,3078 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 1,2314 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

e. Friksi untuk *Gate valve*

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 0,17 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{(0,906 \text{ m/s})^2}{2} = 0,4142 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Digunakan 2 *Gate valve*

$$hf = 2 \times 0,4142 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 0,83 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

f. Friksi untuk elbow tee

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 1 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 1 \times \frac{(0,906 \text{ m/s})^2}{2} = 0,4105 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Digunakan 2 elbow tee

$$hf = 4 \times 0,4105 \frac{m^2}{s^2} = 0,8209 \frac{m^2}{s^2}$$

$$\text{Friksi Total } (\Sigma F) = 7,5559 \frac{m^2}{s^2}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{1}{2 \times 1} \left((0,9060 \frac{m}{s})^2 - (0 \frac{m}{s})^2 \right) + 9,8 \frac{m}{s^2} (12,08m - 3,3673m) +$$

$$+ 7,5559 \frac{m^2}{s^2} + W_s = 0$$

$$-W_s = 92,53 \frac{m^2}{s^2} = 92,53 \frac{j}{kg}$$

Untuk laju volumetrik air = 68,48 gal/min didapatkan harga efisiensi pompa

$$(\eta) = 40 \% \quad [21]$$

$$\text{brake kW} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 1000} \approx \frac{-w_s \times Q \times \rho}{\eta \times 1000}$$

[21]

$$= \frac{92,53 \frac{j}{kg} \times 0,0043 \frac{m^3}{s} \times 995,68 \frac{kg}{m^3}}{0,4 \times 1000}$$

$$= 1 \text{ kW} \approx 1,33 \text{ Hp}$$

Untuk power pompa 1 kW didapat harga efisiensi motor = 81% [30]

$$\text{Sehingga dipakai pompa dengan motor} = \frac{100}{81} \times 1,33 \text{ Hp} = 1,65 \text{ Hp}$$

10. Tangki Pemanas Air (E110)

Fungsi : untuk memanaskan air sebelum menuju tangki ekstraksi

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis yang dilengkapi dengan coil

Dasar pemilihan : cocok untuk menampung bahan baku yang berbentuk cair

Kondisi operasi : $T = 95^{\circ}\text{C}$

$$\rho_{\text{air}} = 961,9 \text{ kg/m}^3 = 60,05 \text{ lbm/ft}^3$$

Perhitungan :

Massa air masuk = 3.872,04 kg

Waktu tinggal = 1,5 jam

$$\text{Volume air total} = \frac{3.872,04 \text{ kg}}{961,9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 4,03 \text{ m}^3 = 142,15 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume air total, sehingga:

$$\text{Volume tangki penampung} = 1,3 \times 142,15 \text{ ft}^3 = 184,80 \text{ ft}^3$$

Ditetapkan : tinggi shell (H_t) = 1,5 diameter shell (D_t) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^{\circ} [28]$$

Diameter nozzle (D_n) yang digunakan 4 inchi = 0,33 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times D_t^2 \times H_t = (\pi/4) \times 1,5 \times D_t^3$$

H_n = tinggi nozzle; H_k = tinggi konis

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} \text{ dan } H_k = \frac{D_t}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{D_t}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{D_t - D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \pi x D t^2 x (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \pi x D n^2 x H_n \\
 &= \frac{1}{3} \pi x D t^2 x \left(\frac{D t - D n}{2 \tan 30} + \frac{D n}{2 \tan 30} \right) - \frac{1}{3} \pi x D n^2 x \frac{D n}{2 \tan 30} \\
 &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (D t^3 - D n^3)
 \end{aligned}$$

Volume tangki = volume *shell* + volume konis

$$184,80 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times D t^3 + \frac{\pi}{24 \tan 30} (D t^3 - D n^3)$$

$$184,80 \text{ ft}^3 = 1,1775 D t^3 + 0,23 D t^3 - 0,0081$$

$$D t = 5,09 \text{ ft}$$

$$H_t = 1,5 D t = 1,5 \times 5,09 \text{ ft} = 7,63 \text{ ft}$$

$$H_n = \frac{D n}{2 \tan \alpha} = \frac{0,33}{2 \tan 30} = 0,29 \text{ ft}$$

$$H_k = \frac{D t}{2 \tan \alpha} - H_n = \frac{5,09}{2 \tan 30} - 0,29 = 4,12 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi tangki total} = H_t + H_k = (7,63 + 4,12) \text{ ft} = 11,74 \text{ ft}$$

$$\text{Volume air konis} = \frac{\pi}{24 \tan 30} (D t^3 - D n^3) = \frac{\pi}{24 \tan 30} (5,09^3 - 0,33^3) = 29,82 \text{ ft}^3$$

Volume air dalam tangki = volume air dalam *shell* + volume air dalam konis

$$142,15 \text{ ft}^3 = \text{volume air dalam } shell + 29,82 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume air dalam } shell = 112,33 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume air dalam shell} = (\pi/4) \times H_L \times D t^2$$

$$112,33 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (5,09 \text{ ft})^2$$

$$\text{Tinggi larutan dalam shell } (H_L) = 5,53 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi larutan dalam tangki } (Z_t) = H_L + H_k = (5,53 + 4,12) \text{ ft} = 9,65 \text{ ft}$$

Tekanan operasi tangki

Tekanan udara = 1 atm = 14,70 psia

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{60,05 \times 9,65}{144} = 4,02 \text{ psia [28, Eq. 3.17]}$$

Tekanan operasi alat = tekanan udara + tekanan hidrostatik

$$= (14,70 + 4,02) \text{ psia} = 18,72 \text{ psia}$$

$$P_{\text{desain}} = 1,5 \times P_{\text{operasi}} = 1,5 \times 18,72 \text{ psia} = 28,08 \text{ psia} = 1,91 \text{ atm}$$

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah stainless steel-316L

- f_{all} = allowable stress = 23.000 lb/in²
- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, p.254, tabel 13.2)
- c = corrosion allowance = (1/8) = 0,125 in

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi) = 28,08 psia

D = *inside diameter* (in) = 5,09 ft = 61,03 in

f = *allowable working stress* (psi) = 23000 psia

E = *joint efficiency* = 0,8

c = *corrosion allowance* = 0,125

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{28,08 \text{ psia} \times 61,03 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,17 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup konis

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal konis} &= \frac{P.D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c \\
 &= \frac{28,08 \text{ psia} \times 61,03 \text{ in}}{2 \cos 30 (23000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 28,08 \text{ psia})} + 0,125 \\
 &= 0,18 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama	: tangki pemanas air
Fungsi	: untuk memanaskan air sebelum menuju tangki ekstraksi
Bahan konstruksi	: <i>stainless steel</i> -316L
Kapasitas	: 184,80 ft ³
Diameter tangki	: 5,09 ft
Tinggi shell	: 7,63 ft
Tinggi konis	: 4,12 ft
Tinggi tangki total	: 11,74 ft
Tebal shell	: 3/16 in
Tebal head	: 3/16 in
Tebal konis	: 3/16 in
Jumlah	: 1 buah

Coil

Massa steam yang dibutuhkan untuk memanaskan (dari neraca panas):

$$m = 817,7 \text{ kg}$$

Mencari dimensi coil

Ukuran pipa coil yang digunakan [29] 1 in sch 80:

$$d_o = 1,32 \text{ in}$$

$$d_i = 1,049 \text{ in}$$

$$a_t = 0,864 \text{ in}^2$$

$$a''_t = 0,344 \text{ ft}^2/\text{lin ft}$$

$$D_{\text{tangki}} = 5,09 \text{ ft}$$

$$h_{io} = 1.500 \text{ btu/jam.ft.}^\circ\text{F}$$

$$h_o = 300 \text{ btu/jam.ft}^2.^\circ\text{F}$$

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o}$$

$$= \frac{1.500 \times 300}{1.500 + 300}$$

$$= 250 \text{ btu/jam.ft.}^\circ\text{F}$$

$$R_d = 0,0015 \text{ btu/jam.ft}^2.^\circ\text{F}$$

$$U_d = \frac{1}{R_d + \frac{1}{U_c}}$$

$$U_d = \frac{1}{0,0015 + \frac{1}{250}}$$

$$U_d = 181,818 \text{ btu/jam.ft}^2.^\circ\text{F} \approx 1,032 \text{ kJ/s.m}^2.\text{K}$$

$$Q_{\text{steam}} (\text{dari neraca panas}) = 1.172.791,19 \text{ kJ/batch} \approx 325,78 \text{ kJ/s}$$

$$t_2 (\text{suhu bahan masuk}) = 303 \text{ K}$$

$$t_1 (\text{suhu bahan keluar}) = 368 \text{ K}$$

$$T_1, T_2 = 393 \text{ K}$$

$$\Delta T_{\text{LMTD}} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)}$$

$$= \frac{(393 - 303) - (393 - 368)}{\ln\left(\frac{393 - 303}{393 - 368}\right)} = 50,74 \text{ K}$$

$$A_{coil} = \frac{Q}{U_d \times \Delta T_{LMTD}}$$

$$= \frac{325,78 \text{ kJ} / s}{181,818 \text{ kJ} / s \cdot m^2 \cdot K \times 50,74 \text{ K}}$$

$$= 6,22 \text{ m}^2 \approx 66,93 \text{ ft}^2$$

$$L \text{ (panjang coil)} = \frac{A_{coil}}{a'' t}$$

$$= \frac{66,93 \text{ ft}^2}{0,344 \text{ ft}^2 / \text{lin ft}}$$

$$= 194,57 \text{ ft}$$

Ditetapkan:

$$D_{coil} = 0,65 \times D_t = 0,65 \times 5,09 \approx 3,31 \text{ ft}$$

Sc (jarak antar coil) = 1 - 2 in; dipilih Sc = 1 in

$$n_c = \frac{L}{\pi \times D_{coil}}$$

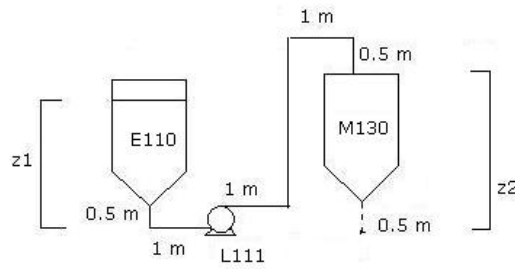
$$= \frac{194,57 \text{ ft}}{\pi \times 3,31 \text{ ft}}$$

$$= 18,73 \text{ putaran} = 19 \text{ putaran}$$

$$h_c \text{ (tinggi coil)} = [(n_c - 1) \times (d_o + Sc)] + d_o$$

$$= [(19 - 1) \times (1,32 + 1)] \text{ in} + 1,32 \text{ in} = 42,46 \text{ in} = 3,54 \text{ ft}$$

11. Pompa L111



Fungsi: mengalirkan air dari tangki pemanas E110 ke tangki ekstraksi M130

Perhitungan:

Pompa bekerja 15 menit/batch

$$\text{Rate volumetrik} = 3,888 \frac{m^3}{\text{batch}} \approx 0,0043 \frac{m^3}{s} \approx 68,48 \text{ gal/min}$$

$$\rho_{\text{air}} = 995,68 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu_{\text{air}} = 0,8007 \times 10^{-3} \frac{kg}{m.s}$$

Trial : aliran turbulen, sehingga :

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad [30]$$

dimana, Q = debit ($\frac{m^3}{s}$)

ρ = densitas ($\frac{kg}{m^3}$)

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times 0,0043^{0,45} \times 995,68^{0,13} = 0,0769 \text{ m} \approx 3,0258 \text{ in}$$

Dipilih *steel pipe* (IPS) untuk *comercial steel* berukuran 3 in sch 40 :

$$ID = 77,92 \text{ mm} \approx 0,0779 \text{ m}$$

$$OD = 88,9 \text{ mm} \approx 0,0889 \text{ m}$$

$$A = 0,0048 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} \approx \frac{0,0043 \frac{m^3}{s}}{0,0048 m^2} = 0,906 \frac{m}{s}$$

Cek Trial :

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{995,68 \frac{kg}{m^3} \times 0,0779 m \times 0,906 \frac{m}{s}}{0,8007 \times 10^{-3} \frac{kg}{m.s}} = 87.790,7156 \text{ (turbulen)}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad [21]$$

Perhitungan Friksi :

f. Pipa lurus

$$F_f = \frac{4 \times f \times \Delta L \times v^2}{2 \times ID} \quad [21]$$

Pipa *commercial steel*, $\epsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$

$$\epsilon / ID = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,0779} = 0,00059$$

$$N_{re} = 87.790,7156$$

Dari Geankoplis (ϵ / ID vs N_{re}), diperoleh $f = 0,0055$

$$\Delta L = 8,2 \text{ m}$$

$$F_f = \frac{4 \times 0,0055 \times 8,2 m \times (0,906 \frac{m}{s})^2}{2 \times 0,0779 m}$$

$$= 0,9503 \frac{m^2}{s^2}$$

g. *Sudden contraction*

$$h_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

$$\begin{aligned} h_c &= 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \\ &= 0,55 \times \left(1 - \frac{0,0048}{0,0081}\right) \times \frac{\left(0,906 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 1} = 0,0928 \frac{m^2}{s^2} \end{aligned}$$

h. *Sudden enlargement*

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

$$h_{ex} = \frac{v^2}{2\alpha} = \frac{\left(0,906 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 1} = 0,4105 \frac{m^2}{s^2}$$

i. Friksi untuk elbow 90°

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 0,75 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,75 \times \frac{(0,906 \text{ m/s})^2}{2} = 0,3078 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Digunakan 4 elbow 90°

$$hf = 4 \times 0,3078 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 1,2314 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

j. Friksi untuk *Gate valve*

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 0,17 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{(0,906 \text{ m/s})^2}{2} = 0,4142 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\text{Friksi Total } (\Sigma F) = 3,0991 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{1}{2 \times 1} \left((0,9060 \text{ m/s})^2 - (0 \text{ m/s})^2 \right) + 9,8 \text{ m/s}^2 (4,2247 \text{ m} - 3,4399 \text{ m}) +$$

$$+ 3,0991 \text{ m}^2/\text{s}^2 + W_s = 0$$

$$-W_s = 10,34 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 10,34 \text{ J/kg}$$

Untuk laju volumetrik air = 68,48 gal/min didapatkan harga efisiensi pompa

$$(\eta) = 40 \% \quad [21]$$

$$\text{brake kW} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 1000} \approx \frac{-w_s \times Q \times \rho}{\eta \times 1000}$$

[21]

$$= \frac{10,46 \frac{j}{kg} \times 0,0043 \frac{m^3}{s} \times 995,68 \frac{kg}{m^3}}{0,4 \times 1000}$$

$$= 0,11 \text{ kW} \approx 0,15 \text{ Hp}$$

Untuk power pompa 0,11 kW didapat harga efisiensi motor = 70% [30]

$$\text{Sehingga dipakai pompa dengan motor} = \frac{100}{70} \times 0,11 \text{ Hp} = 0,213 \text{ Hp}$$

12. Tangki Ekstraksi (M130)

Fungsi : untuk mengekstrak daun teh kering sehingga terbentuk ekstrak air teh

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis yang dilengkapi dengan pengaduk

Dasar pemilihan : cocok untuk mengekstrak daun teh dan mempermudah pengeluaran ampas daun teh kering

Kondisi operasi : T = 95°C

$$\rho \text{ air} = 961,90 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ daun teh kering} = 206 \text{ kg/m}^3$$

Perhitungan :

$$\text{Massa air} = 3.872,04 \text{ kg}$$

$$\text{Massa daun teh kering} = 100,64 \text{ kg}$$

$$\text{Fraksi air} = \frac{3872,04}{3872,04 + 100,64} = 0,97$$

$$\text{Fraksi daun teh kering} = \frac{100,64}{3872,04 + 100,64} = 0,03$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\left[\frac{0,97}{961,90} + \frac{0,03}{206,00} \right]} = 880,09 \text{ kg/m}^3 = 54,94 \text{ lbm/ft}^3$$

massa campuran = massa air + massa daun teh kering

$$= (3.872,04 + 100,64) \text{ kg} = 3.972,68 \text{ kg}$$

$$\text{Volume campuran total} = \frac{3972,68 \text{ kg}}{880,09 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 4,51 \text{ m}^3 = 159,40 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume air total, sehingga:

Volume tangki penampung = 1,3 volume air total

$$= 1,3 \times 159,40 \text{ ft}^3 = 207,22 \text{ ft}^3$$

Ditetapkan : tinggi shell (Ht) = 1,5 diameter shell (Dt) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^\circ \text{ [28]}$$

Diameter nozzle (Dn) yang digunakan 4 inchi = 0,33 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times Dt^2 \times Ht = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3$$

Hn = tinggi nozzle; Hk = tinggi konis

$$Hn = \frac{Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha} \text{ dan } Hk = \frac{Dt}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - Hn = \frac{Dt}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - \frac{Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{Dt - Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha}$$

$$\text{Volume konis} = \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dt^2 \times (Hk + Hn) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dn^2 \times Hn$$

$$= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dt^2 \times \left(\frac{Dt - Dn}{2 \text{tg } 30} + \frac{Dn}{2 \text{tg } 30} \right) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dn^2 \times \frac{Dn}{2 \text{tg } 30}$$

$$= \frac{\pi}{24 \text{tg } 30} (Dt^3 - Dn^3)$$

Volume tangki = volume *shell* + volume konis

$$207,22 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3 + \frac{\pi}{24 \tan 30} (Dt^3 - Dn^3)$$

$$207,22 \text{ ft}^3 = 1,1775 Dt^3 + 0,23 Dt^3 - 0,0081$$

$$Dt = 5,28 \text{ ft}$$

$$Ht = 1,5 Dt = 1,5 \times 5,28 \text{ ft} = 7,93 \text{ ft}$$

$$Hn = \frac{Dn}{2 \tan \alpha} = \frac{0,33}{2 \tan 30} = 0,29 \text{ ft}$$

$$Hk = \frac{Dt}{2 \tan \alpha} - Hn = \frac{5,28}{2 \tan 30} - 0,29 = 4,29 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi tangki total} = Ht + Hk = (7,93 + 4,29) \text{ ft} = 12,21 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume larutan dalam konis} &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (Dt^3 - Dn^3) \\ &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (5,28^3 - 0,33^3) = 33,44 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Volume larutan dalam tangki = volume larutan dalam *shell* + volume larutan dalam konis

$$159,40 \text{ ft}^3 = \text{volume larutan dalam } shell + 33,44 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam } shell = 125,97 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = (\pi/4) \times H_L \times Dt^2$$

$$125,97 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (5,28 \text{ ft})^2$$

$$\text{Tinggi larutan dalam shell } (H_L) = 5,74 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi larutan dalam tangki } (Z_t) = H_L + Hk = (5,74 + 4,29) \text{ ft} = 10,03 \text{ ft}$$

Tekanan operasi tangki

$$\text{Tekanan udara} = 1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psia}$$

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{54,94 \times 10,03}{144} = 3,83 \text{ psia [28, Eq. 3.17]}$$

Tekanan operasi alat = tekanan udara + tekanan hidrostatik

$$= (14,70 + 3,83) \text{ psia} = 18,52 \text{ psia}$$

$$P \text{ desain} = 1,5 \times P \text{ operasi} = 1,5 \times 18,52 \text{ psia} = 27,79 \text{ psia} = 1,89 \text{ atm}$$

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah stainless steel-316L

- f_{all} = allowable stress = 23.000 lb/in²
- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, p.254, tabel 13.2)
- c = corrosion allowance = (1/8) = 0,125 in

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : t_s = thickness of shell (in)

P = internal design pressure (psi) = 27,79 psia

D = inside diameter (in) = 5,28 ft = 63,40 in

f = allowable working stress (psi) = 23000 psia

E = joint efficiency = 0,8

c = corrosion allowance = 0,125

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{27,79 \text{ psia} \times 63,40 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,17 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup konis

$$\begin{aligned} \text{Tebal konis} &= \frac{P \cdot D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c \\ &= \frac{27,79 \text{ psia} \times 63,40 \text{ in}}{2 \cos 30 (23000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 27,79 \text{ psia})} + 0,125 \\ &= 0,18 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama	: tangki ekstraksi
Fungsi	: untuk mengekstrak daun teh kering sehingga terbentuk ekstrak air teh
Bahan konstruksi	: <i>stainless steel</i> -316L
Kapasitas	: 207,22 ft ³
Diameter tangki	: 5,28 ft
Tinggi shell	: 7,93 ft
Tinggi konis	: 4,92 ft
Tinggi tangki total	: 12,21 ft
Tebal shell	: 3/16 in
Tebal head	: 3/16 in
Tebal konis	: 3/16 in
Jumlah	: 1 buah

Agitator M130

Ditetapkan:

1. Jenis agitator yang digunakan adalah *four blade paddle agitator*

μ campuran = 0,0008 kg/m.s atau Pa.s

2. Bahan konstruksi Stainless steel – 316L

Dari Tabel 3.4-1 [21, p.158] diperoleh :

$$\frac{D_a}{D_t} = 0,6-0,8 \quad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \quad \frac{H}{D_t} = 1$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \quad \frac{C}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$$

Dimana: D_a = diameter pengaduk

D_t = diameter tangki

W = lebar *blade*

H = tinggi cairan dalam tangki

L = panjang *blade*

C = jarak pengaduk dari dasar tangki

J = lebar *baffle*

Sehingga didapatkan :

1. Diameter pengaduk (D_a)

$$\frac{D_a}{D_t} = 0,7 \rightarrow D_a = 0,7 D_t = 0,7 \cdot 1,61 \text{ m} = 1,13 \text{ m}$$

2. Lebar *blade* (W)

$$\frac{W}{D_a} = 0,2 \rightarrow W = 0,2 D_a = 0,2 \cdot 1,13 \text{ m} = 0,23 \text{ m}$$

3. Panjang *blade* (L)

$$\frac{L}{D_a} = 0,25 \rightarrow L = 0,25 D_a = 0,25 \cdot 1,13 \text{ m} = 0,28 \text{ m}$$

4. Jarak pengaduk dari dasar tangki (C)

$$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3} \rightarrow C = \frac{1}{3} D_t = \frac{1}{3} \cdot 1,61 \text{ m} = 0,54 \text{ m}$$

5. Lebar *baffle* (J)

$$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \rightarrow J = \frac{1}{12} \cdot D_t = \frac{1}{12} \cdot 1,61 \text{ m} = 0,13 \text{ m}$$

Perhitungan kecepatan pengadukan :

Syarat :

- Kecepatan agitator (N) antara 20 – 150 rpm [31, p.238]

$$N = 100 \text{ rpm} = 1,67 \text{ rps}$$

Power yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan [21, p.158]:

$$N_{Re} = \frac{\rho \times N \times Da^2}{\mu}$$

Dimana: Da = diameter pengaduk (m)

N = kecepatan putaran pengaduk (rps)

ρ = densitas (kg /m³)

μ = viskositas (kg/m.s)

$$N_{Re} = \frac{880,09 \text{ kg/m}^3 \times 1,67 \text{ rps} \times (0,64 \text{ m})^2}{0,0008 \text{ kg/m.s}} = 2.330.268,33 \rightarrow \textbf{Turbulen}$$

Nilai N_p dapat dicari dari literatur [21, Fig. 3.4-5]

untuk nilai $N_{Re} = 2.330.268,33$ dan untuk jenis *four blade paddle agitator* maka :

$$\begin{aligned} N_p &= 215 \times (N_{Re})^{-0,955} \\ &= 215 \times (2.330.268,33)^{-0,955} \\ &= 0,00018 \end{aligned}$$

$$P = N_p \times \rho \times N^3 \times Da^5 \quad [21, p.159]$$

$$P = 0,00018 \times 880,09 \text{ kg/m}^3 \times (1,67)^3 \times (1,13 \text{ m})^5$$

$$P = 1,32 \text{ W} = 0,00178 \text{ Hp}$$

Effisiensi motor = 80%

$$P = \frac{0,00178 \text{ hp}}{0,8} \times 2 = 0,00444 \text{ Hp} = 0,5 \text{ Hp}$$

Jaket Pemanas

Steam yang digunakan adalah *saturated steam* 198,53 kPa dengan suhu 120°C.

$$\text{Spesifik volume} = 0,8908 \text{ m}^3/\text{kg}$$

[21, A.2-9]

$$\rho = (\text{spesifik volume})^{-1} = (0,8908 \text{ m}^3/\text{kg})^{-1} = 1,12 \text{ kg/m}^3$$

Entalpi: *saturated vapor* (h_g) = 2.706,30 kJ/kg

Saturated liquid (h_f) = 503,71 kJ/kg

$$\lambda = h_g - h_f = 2.706,30 - 503,71 = 2.202,59 \text{ kJ/kg}$$

$h_{gw} = h_f + \lambda \cdot x$, dimana x = kualitas steam (90%)

$$= 503,71 + 2.202,59 \cdot 0,9$$

$$= 2.486,04 \text{ kJ/kg}$$

$$\lambda_w = h_{gw} - h_f = 2.486,04 - 503,71 = 1.982,33 \text{ kJ/kg}$$

Asumsi :

$$H_{\text{jaket}} = H_{\text{shell}} = 2,42 \text{ m}$$

Perhitungan:

D_v (diameter shell) = 1,61 m

Q steam (dari neraca panas) = 14.696,37 kJ/batch

$$\begin{aligned} \text{Massa steam} &= \frac{Q_{\text{steam}}}{\lambda_{\text{wet_steam}}} \\ &= \frac{14.696,37}{1.982,33} = 7,41 \text{ kg/batch} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{volume steam} &= \frac{\text{massa}}{\rho} \\ &= \frac{7,41}{1,12} = 6,6 \text{ m}^3/\text{batch} \end{aligned}$$

Waktu tinggal steam = 1 menit

$$\text{Volume steam / 1 menit (Vs)} = 6,60 \times \frac{1}{2 \times 60} \times 1 = 0,06 \text{ m}^3$$

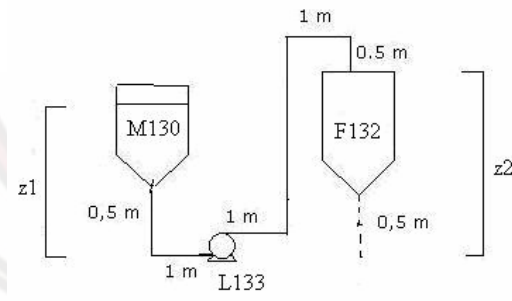
t = tebal jaket

$$V_s = t \times H_{\text{jaket}} \times (D_v + 2t)$$

$$0,06 = t \times 2,42 \times (1,61 + 2t)$$

$$t = 0,02 \text{ m}$$

13. Pompa L133



Fungsi: mengalirkan air teh dan ampas dari tangki ekstraksi F130 ke dalam tangki penampung F132

Perhitungan:

Pompa bekerja 15 menit/batch

$$\text{Rate volumetrik} = 4,5140 \text{ m}^3/\text{batch} \approx 0,0050 \text{ m}^3/\text{s} \approx 79,497 \text{ gal/min}$$

$$\rho \text{ campuran} = 880,0881 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu \text{ campuran} = 0,0008 \text{ kg/m.s}$$

Trial : aliran turbulen, sehingga :

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad [30]$$

$$\text{dimana, } Q = \text{debit (m}^3/\text{s)}$$

$$\rho = \text{densitas (kg/m}^3\text{)}$$

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times 0,0050^{0,45} \times 880,0881^{0,13} = 0,0809 \text{ m} \approx 3,1842 \text{ in}$$

Dipilih *steel pipe* (IPS) untuk *comercial steel* berukuran 3,5 in sch 40 :

$$ID = 90,12 \text{ mm} \approx 0,0901 \text{ m}$$

$$OD = 101,6 \text{ mm} \approx 0,1016 \text{ m}$$

$$A = 0,0064 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} \approx \frac{0,005 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0064 \text{ m}^2} = 0,7863 \text{ m/s}$$

Cek Trial :

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{880,0881 \text{ kg/m}^3 \times 0,0901 \text{ m} \times 0,7863 \text{ m/s}}{0,0008 \text{ kg/m.s}} = 77.950,57 \text{ (laminer)}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0 \quad [21]$$

Perhitungan Friksi :

a. Pipa lurus

$$F_f = \frac{4 \times f \times \Delta L \times v^2}{2 \times ID} \quad [21]$$

Pipa *commersial steel*, $\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$

$$\varepsilon/ID = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,0901} = 0,00051$$

$$N_{re} = 77.950,57$$

Dari Geankoplis (ϵ/ID vs Nre), diperoleh $f = 0,0049$

$$\Delta L = 8,72 \text{ m}$$

$$Ff = \frac{4 \times 0,0049 \times 8,72 \text{ m} \times \left(0,7863 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 0,0901 \text{ m}} = 0,5862 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

b. *Sudden contraction*

$$h_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

$$\begin{aligned} h_c &= 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} = 0,55 \times \left(1 - \frac{0,0064}{0,0081}\right) \times \frac{\left(0,7863 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 1} \\ &= 0,0361 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \end{aligned}$$

c. *Sudden enlargement*

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

$$h_{ex} = \frac{v^2}{2\alpha} = \frac{\left(0,7863 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 1} = 0,3091 \frac{m^2}{s^2}$$

d. Friksi untuk elbow 90°

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$K_f = 0,75 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} = 0,75 \times \frac{\left(0,7863 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 0,2318 \frac{m^2}{s^2}$$

Digunakan 4 elbow 90°

$$h_f = 4 \times 0,2318 \frac{m^2}{s^2} = 0,9273 \frac{m^2}{s^2}$$

e. Friksi untuk *Gate valve*

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$K_f = 0,17 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{\left(0,7863 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 0,5500 \frac{m^2}{s^2}$$

$$\text{Friksi Total } (\Sigma F) = 2,4087 \frac{m^2}{s^2}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{1}{2 \times 1} \left(\left(0,7863 \frac{m}{s} \right)^2 - \left(0 \frac{m}{s} \right)^2 \right) + 9,8 \frac{m}{s^2} (4,22m - 3,56m) +$$

$$2,4087 \frac{m^2}{s^2} + W_s = 0$$

$$-W_s = 8,57 \frac{m^2}{s^2} = 8,57 \frac{j}{kg}$$

Untuk laju volumetrik air = 79,497 gal/min didapatkan harga efisiensi pompa

$$(\eta) = 40 \% \quad [21]$$

$$\text{brake kW} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 1000} \approx \frac{-w_s \times Q \times \rho}{\eta \times 1000}$$

[21]

$$= \frac{8,57 \frac{j}{kg} \times 0,005 \frac{m^3}{s} \times 880,0881 \frac{kg}{m^3}}{0,4 \times 1000}$$

$$= 0,09 \text{ kW} \approx 0,13 \text{ Hp}$$

Untuk power pompa 0,12 kW didapat harga efisiensi motor = 75% [30]

$$\text{Sehingga dipakai pompa dengan motor} = \frac{100}{75} \times 0,13 \text{ Hp} = 0,17 \text{ Hp}$$

14. Tangki Penampung (F132)

Fungsi : untuk menampung hasil ekstraksi dari M130 untuk disalurkan ke penyaringan H131.

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis.

Dasar pemilihan : cocok untuk menampung hasil ekstraksi

Kondisi operasi : $T = 95^{\circ}\text{C}$

$$\rho_{\text{air}} = 961,90 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{daun teh kering}} = 206 \text{ kg/m}^3$$

Perhitungan :

$$\text{Massa air} = 3.872,04 \text{ kg}$$

$$\text{Massa daun teh kering} = 100,64 \text{ kg}$$

$$\text{Fraksi air} = \frac{3872,04}{3872,04 + 100,64} = 0,97$$

$$\text{Fraksi daun teh kering} = \frac{100,64}{3872,04 + 100,64} = 0,03$$

$$\rho_{\text{campuran}} = \frac{1}{\left[\frac{0,97}{961,90} + \frac{0,03}{206,00} \right]} = 880,09 \text{ kg/m}^3 = 54,94 \text{ lbm/ft}^3$$

$$\text{massa campuran} = \text{massa air} + \text{massa daun teh kering}$$

$$= (3.872,04 + 100,64) \text{ kg} = 3.972,68 \text{ kg}$$

$$\text{Volume campuran total} = \frac{3972,68 \text{ kg}}{880,09 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 4,51 \text{ m}^3 = 159,40 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume air total, sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki penampung} &= 1,3 \text{ volume air total} = 1,3 \times 159,40 \text{ ft}^3 \\ &= 207,22 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Ditetapkan : tinggi shell (H_t) = 1,5 diameter shell (D_t) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^{\circ} \text{ [28]}$$

Diameter nozzle (D_n) yang digunakan 4 inchi = 0,33 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times D_t^2 \times H_t = (\pi/4) \times 1,5 \times D_t^3$$

H_n = tinggi nozzle; H_k = tinggi konis

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} \text{ dan } H_k = \frac{D_t}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{D_t}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{D_t - D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \pi x \frac{D_t^2}{4} x (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \pi x \frac{D_n^2}{4} x H_n \\ &= \frac{1}{3} \pi x \frac{D_t^2}{4} x \left(\frac{D_t - D_n}{2 \tan 30} + \frac{D_n}{2 \tan 30} \right) - \frac{1}{3} \pi x \frac{D_n^2}{4} x \frac{D_n}{2 \tan 30} \\ &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (D_t^3 - D_n^3) \end{aligned}$$

Volume tangki = volume *shell* + volume konis

$$207,22 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times D_t^3 + \frac{\pi}{24 \tan 30} (D_t^3 - D_n^3)$$

$$207,22 \text{ ft}^3 = 1,1775 D_t^3 + 0,23 D_t^3 - 0,0081$$

$$D_t = 5,28 \text{ ft}$$

$$H_t = 1,5 D_t = 1,5 \times 5,28 \text{ ft} = 7,93 \text{ ft}$$

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{0,33}{2 \tan 30} = 0,29 \text{ ft}$$

$$H_k = \frac{D_t}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{5,28}{2 \tan 30} - 0,29 = 4,29 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi tangki total} = H_t + H_k = (7,93 + 4,29) \text{ ft} = 12,21 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume larutan dalam konis} &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (D_t^3 - D_n^3) \\ &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (5,28^3 - 0,33^3) = 33,44 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Volume larutan dalam tangki = volume larutan dalam *shell* + volume larutan dalam konis

$$159,40 \text{ ft}^3 = \text{volume larutan dalam } shell + 33,44 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam } shell = 125,97 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = (\pi/4) \times H_L \times D t^2$$

$$125,97 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (5,28 \text{ ft})^2$$

$$\text{Tinggi larutan dalam shell } (H_L) = 5,74 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi larutan dalam tangki } (Z_t) = H_L + H_k = (5,74 + 4,29) \text{ ft} = 10,03 \text{ ft}$$

Tekanan operasi tangki

$$\text{Tekanan udara} = 1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psia}$$

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{54,94 \times 10,03}{144} = 3,83 \text{ psia [28, Eq. 3.17]}$$

$$\text{Tekanan operasi alat} = \text{tekanan udara} + \text{tekanan hidrostatik}$$

$$= (14,70 + 3,83) \text{ psia} = 18,52 \text{ psia}$$

$$P_{\text{desain}} = 1,5 \times P_{\text{operasi}} = 1,5 \times 18,52 \text{ psia} = 27,79 \text{ psia} = 1,89 \text{ atm}$$

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah stainless steel-316L

- f_{all} = allowable stress = 23.000 lb/in²
- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, p.254, tabel 13.2)
- c = corrosion allowance = (1/8) = 0,125 in

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : t_s = thickness of shell (in)

$$P = \text{internal design pressure (psi)} = 27,79 \text{ psia}$$

$$D = \text{inside diameter (in)} = 5,28 \text{ ft} = 63,40 \text{ in}$$

$$f = \text{allowable working stress (psi)} = 23000 \text{ psia}$$

$$E = \text{joint efficiency} = 0,8$$

$c = \text{corrosion allowance} = 0,125$

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{27,79 \text{ psia} \times 63,40 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,17 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup konis

$$\begin{aligned} \text{Tebal konis} &= \frac{P D}{2 \cdot \cos \alpha (f E - 0,6 P)} + c \\ &= \frac{27,79 \text{ psia} \times 63,40 \text{ in}}{2 \cos 30 (23000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 27,79 \text{ psia})} + 0,125 \\ &= 0,18 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama	: tangki penampung
Fungsi	: untuk mengekstrak daun teh kering sehingga terbentuk ekstrak air teh
Bahan konstruksi	: <i>stainless steel</i> -316L
Kapasitas	: 207,22 ft ³
Diameter tangki	: 5,28 ft
Tinggi shell	: 7,93 ft
Tinggi konis	: 4,29 ft
Tinggi tangki total	: 12,21 ft
Tebal shell	: 3/16 in
Tebal head	: 3/16 in
Tebal konis	: 3/16 in
Jumlah	: 1 buah

15. Filter Press (H131)

Fungsi : untuk memisahkan daun teh kering dengan air teh

Tipe : plate and frame filter press

Dasar pemilihan : cara pengoperasian sederhana dan biaya murah

Perhitungan:

Massa ampas daun teh kering = 57,36 kg

Massa air dalam ampas = 391,53 kg

Massa cake = 448,89 kg

ρ daun teh = 206 kg/m³

ρ air teh = 932,08 kg/m³

$$\text{Fraksi daun teh kering} = \frac{57,36}{57,36 + 391,53} = 0,13$$

$$\text{Fraksi air dalam ampas} = \frac{391,53}{57,36 + 391,53} = 0,87$$

$$\rho \text{ cake campuran} = \frac{1}{\left[\frac{0,87}{932,08} + \frac{0,13}{206,00} \right]} = 642,65 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{volume cake} = \frac{448,89 \text{ kg}}{642,65 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,70 \text{ m}^3 = 24,67 \text{ ft}^3$$

Massa air teh (filtrat) = 3.523,79 kg

$$\text{Volume filtrat} = \frac{3.523,79 \text{ kg}}{932,08 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 3,78 \text{ m}^3$$

Diambil [34, table 19-17] :

Ukuran plate and frame = 48 x 48 in

Luas efektif = 28,80 ft²

Tebal frame berkisar antara 0,125 – 8 in [31], diambil tebal frame 2 in

$$\text{Volume cake tiap frame} = \frac{28,80 \text{ ft}^2}{2} \times \frac{2 \text{ in}}{12 \frac{\text{in}}{\text{ft}}} = 2,4 \text{ ft}^3$$

$$\text{Jumlah frame} = \frac{\text{volume_cake}}{\text{volume_cake_tiap_frame}} = \frac{24,67 \text{ ft}^3}{2,40 \text{ ft}^3} = 10,28 \approx 11 \text{ buah}$$

Panjang plate dan frame berkisar antara 0,5 – 20 m [34]

Jumlah plate and frame = (11 x 2) + 1 = 23 buah

Tebal plate and frame = 23 x 2/12 = 3,83 ft = 1,17 m (memenuhi range panjang alat pada literatur)

Spesifikasi :

Nama alat : filter press

Fungsi : untuk memisahkan daun teh kering dengan air teh

Tebal frame : 2 in

Jumlah plate and frame : 23 buah

Panjang alat : 1,17 m

Bahan : metal

Jumlah : 1 buah

16. Tangki Penampung (F140)

Fungsi : untuk menampung air teh

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis

Dasar pemilihan : cocok untuk menampung cairan (air teh)

Kondisi operasi : T = 76,65°C

$$\rho_{\text{air}} = 970,29 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{daun teh kering}} = 206 \text{ kg/m}^3$$

Perhitungan :

$$\text{Massa air} = 3.484,83 \text{ kg}$$

$$\text{Massa daun teh kering} = 38,96 \text{ kg}$$

$$\text{Fraksi air} = \frac{3.484,83}{3.484,83 + 38,96} = 0,99$$

$$\text{Fraksi daun teh kering} = \frac{38,96}{3.484,83 + 38,96} = 0,01$$

$$\rho_{\text{campuran}} = \frac{1}{\left[\frac{0,99}{970,29} + \frac{0,01}{206,00} \right]} = 932,06 \text{ kg/m}^3 = 58,19 \text{ lbm/ft}^3$$

$$\text{massa campuran} = \text{massa air} + \text{massa daun teh kering}$$

$$= (3.484,83 + 38,96) \text{ kg} = 3.523,79 \text{ kg}$$

$$\text{Volume campuran total} = \frac{3523,79 \text{ kg}}{932,06 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 3,78 \text{ m}^3 = 133,51 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume campuran total, sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki penampung} &= 1,3 \text{ volume campuran total} \\ &= 1,3 \times 133,51 \text{ ft}^3 = 173,56 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Ditetapkan : tinggi shell (Ht) = 1,5 diameter shell (Dt) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^\circ \text{ [28]}$$

Diameter nozzle (Dn) yang digunakan 4 inchi = 0,33 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times D_t^2 \times H_t = (\pi/4) \times 1,5 \times D_t^3$$

Hn = tinggi nozzle; Hk = tinggi konis

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} \text{ dan } H_k = \frac{D_t}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{D_t}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{D_t - D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \pi x D t^2 x (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \pi x D n^2 x H_n \\ &= \frac{1}{3} \pi x D t^2 x \left(\frac{D_t - D_n}{2 \tan 30} + \frac{D_n}{2 \tan 30} \right) - \frac{1}{3} \pi x D n^2 x \frac{D_n}{2 \tan 30} \\ &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (D t^3 - D n^3) \end{aligned}$$

Volume tangki = volume *shell* + volume konis

$$169,35 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times D t^3 + \frac{\pi}{24 \tan 30} (D t^3 - D n^3)$$

$$169,35 \text{ ft}^3 = 1,1775 D t^3 + 0,23 D t^3 - 0,0081$$

$$D t = 4,98 \text{ ft}$$

$$H_t = 1,5 D t = 1,5 \times 4,98 \text{ ft} = 7,47 \text{ ft}$$

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{0,33}{2 \tan 30} = 0,29 \text{ ft}$$

$$H_k = \frac{D_t}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{4,98}{2 \tan 30} - 0,29 = 4,02 \text{ ft}$$

$$H \text{ total} = H_t + H_k = (7,47 + 4,02) \text{ ft} = 11,50 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume larutan dalam konis} &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (D t^3 - D n^3) \\ &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (4,98^3 - 0,33^3) = 28,00 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Volume larutan dalam tangki = volume larutan dalam *shell* + volume larutan dalam konis

$$133,51 \text{ ft}^3 = \text{volume larutan dalam } shell + 28,00 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam } shell = 105,50 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = (\pi/4) \times H_L \times D t^2$$

$$105,50 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (4,98 \text{ ft})^2$$

$$\text{Tinggi larutan dalam shell } (H_L) = 5,42 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi larutan dalam tangki } (Z_t) = H_L + H_k = (5,42 + 4,02) \text{ ft} = 9,44 \text{ ft}$$

Tekanan operasi tangki

$$\text{Tekanan udara} = 1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psia}$$

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{58,19 \times 9,44}{144} = 3,81 \text{ psia [28, Eq. 3.17]}$$

$$\text{Tekanan operasi alat} = \text{tekanan udara} + \text{tekanan hidrostatik}$$

$$= (14,70 + 3,81) \text{ psia} = 18,51 \text{ psia}$$

$$P_{\text{desain}} = 1,5 \times P_{\text{operasi}} = 1,5 \times 18,51 \text{ psia} = 27,77 \text{ psia} = 1,89 \text{ atm}$$

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah stainless steel-316L

- $f_{all} = \text{allowable stress} = 23.000 \text{ lb/in}^2$
- $E = \text{efisiensi sambungan} = 0,8$ (double welded butt joint, 28, p.254, tabel 13.2)
- $c = \text{corrosion allowance} = (1/8) = 0,125 \text{ in}$

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : $t_s = \text{thickness of shell (in)}$

$$P = \text{internal design pressure (psi)} = 27,77 \text{ psia}$$

$$D = \text{inside diameter (in)} = 4,98 \text{ ft} = 59,77 \text{ in}$$

$$f = \text{allowable working stress (psi)} = 23000 \text{ psia}$$

$$E = \text{joint efficiency} = 0,8$$

$$c = \text{corrosion allowance} = 0,125$$

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{27,77 \text{ psia} \times 59,77 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,17 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

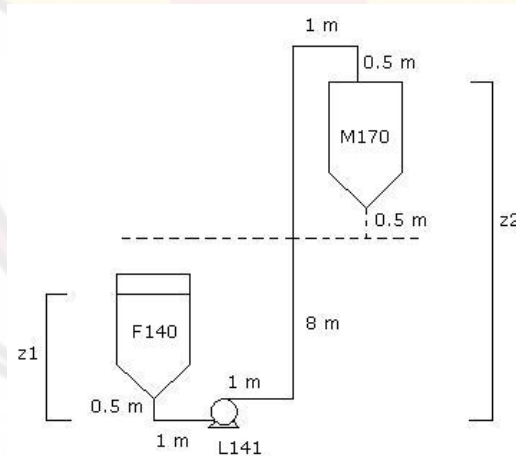
Tebal tutup konis

$$\begin{aligned} \text{Tebal konis} &= \frac{P.D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c \\ &= \frac{27,77 \text{ psia} \times 59,77 \text{ in}}{2 \cos 30 (23000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 27,77 \text{ psia})} + 0,125 \\ &= 0,18 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama	: tangki penampung
Fungsi	: untuk menampung air teh
Bahan konstruksi	: <i>stainless steel-316L</i>
Kapasitas	: 173,56 ft ³
Diameter tangki	: 4,98 ft
Tinggi shell	: 7,47 ft
Tinggi konis	: 4,02 ft
Tinggi tangki total	: 11,50 ft
Tebal shell	: 3/16 in
Tebal head	: 3/16 in
Tebal konis	: 3/16 in
Jumlah	: 1 buah

17. Pompa L141



Fungsi: mengalirkan air teh dari tangki penampung F140 ke tangki *mixing* M170

Perhitungan:

Pompa bekerja 15 menit/batch

$$\text{Rate volumetrik} = 3,7806 \frac{m^3}{\text{batch}} \approx 0,0042 \frac{m^3}{s} \approx 66,58 \text{ gal/min}$$

$$\rho \text{ campuran} = 932,0608 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu \text{ campuran} = 0,8007 \times 10^{-3} \frac{kg}{m.s}$$

Trial : aliran turbulen, sehingga :

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad [30]$$

$$\text{dimana,} \quad Q = \text{debit} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$\rho = \text{densitas } (\text{kg}/\text{m}^3)$$

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times 0,0042^{0,45} \times 932,0608^{0,13} = 0,0752 \text{ m} \approx 2.9621 \text{ in}$$

Dipilih *steel pipe* (IPS) untuk *comercial steel* berukuran 3 in sch 40 :

$$ID = 77,92 \text{ mm} \approx 0,0779 \text{ m}$$

$$OD = 88,9 \text{ mm} \approx 0,0889 \text{ m}$$

$$A = 0,0048 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} \approx \frac{0,0042 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0048 \text{ m}^2} = 0,8808 \text{ m/s}$$

Cek Trial :

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{932,0608 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 0,0779 \text{ m} \times 0,8808 \text{ m/s}}{0,8007 \times 10^{-3} \text{ kg}/\text{m.s}} = 79.964,79 \text{ (turbulen)}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad [21]$$

Perhitungan Friksi :

a. Pipa lurus

$$F_f = \frac{4 \times f \times \Delta L \times v^2}{2 \times ID} \quad [21]$$

Pipa *comercial steel*, $\epsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$

$$\epsilon/ID = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,0779} = 0,00059$$

$$N_{re} = 79.964,79$$

Dari Geankoplis (ϵ/ID vs Nre), diperoleh $f = 0,0049$

$$\Delta L = 16,26 \text{ m}$$

$$Ff = \frac{4 \times 0,0049 \times 16,26 \text{ m} \times (0,8808 \text{ m/s})^2}{2 \times 0,0779 \text{ m}} = 1,5865 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

b. *Sudden contraction*

$$h_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

$$\begin{aligned} h_c &= 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} = 0,55 \times \left(1 - \frac{0,0048}{0,0081}\right) \times \frac{(0,8808 \text{ m/s})^2}{2 \times 1} \\ &= 0,0877 \text{ m}^2/\text{s}^2 \end{aligned}$$

c. *Sudden enlargement*

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

$$h_{ex} = \frac{v^2}{2\alpha} = \frac{\left(0,8808 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 1} = 0,3879 \frac{m^2}{s^2}$$

d. Friksi untuk elbow 90°

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 0,75 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,75 \times \frac{\left(0,8808 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 0,291 \frac{m^2}{s^2}$$

Digunakan 4 elbow 90°

$$hf = 4 \times 0,291 \frac{m^2}{s^2} = 1,1638 \frac{m^2}{s^2}$$

e. Friksi untuk Gate valve

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 0,17 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{\left(0,8808 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 0,4382 \frac{m^2}{s^2}$$

$$\text{Friksi Total } (\Sigma F) = 3,6642 \frac{m^2}{s^2}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{1}{2 \times 1} \left(\left(0,8808 \frac{m}{s}\right)^2 - \left(0 \frac{m}{s}\right)^2 \right) + 9,8 \frac{m}{s^2} (12,2582m - 3,3773m) +$$

$$3,6642 \frac{m^2}{s^2} + W_s = 0$$

$$-W_s = 90,60 \frac{m^2}{s^2} = 90,60 \frac{j}{kg}$$

Untuk laju volumetrik air = 66,58 gal/min didapatkan harga efisiensi pompa

$$(\eta)=40 \% \quad [21]$$

$$\text{brake kW} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 1000} \approx \frac{-w_s \times Q \times \rho}{\eta \times 1000}$$

[21]

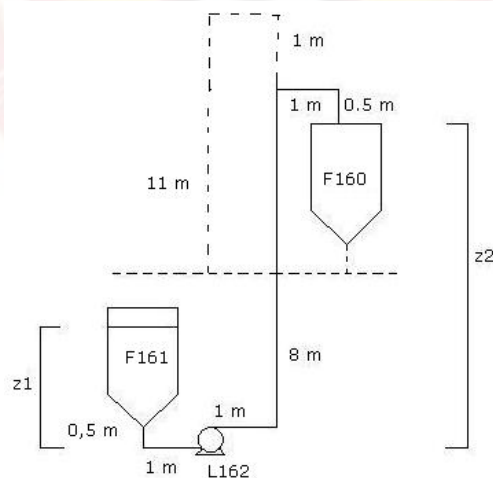
$$= \frac{90,60 \frac{j}{kg} \times 0,0042 \frac{m^3}{s} \times 932,0608 \frac{kg}{m^3}}{0,4 \times 1000}$$

$$= 0,89 \text{ kW} \approx 1,19 \text{ Hp}$$

Untuk power pompa 0,89 kW didapat harga efisiensi motor = 80% [30]

$$\text{Sehingga dipakai pompa dengan motor} = \frac{100}{70} \times 1,19 \text{ Hp} = 1,49 \text{ Hp}$$

18. Pompa L162



Fungsi: mengalirkan sirup gula aren dari tangki penampung sirup gula aren F161 dalam ruang pendingin ke tangki penampung gula aren F160

Perhitungan:

Pompa bekerja 15 menit/batch

$$\text{Rate volumetrik} = 0,6627 \frac{m^3}{\text{batch}} \approx 0,0007 \frac{m^3}{s} \approx 11,67 \text{ gal/min}$$

$$\rho \text{ campuran} = 1.329,4068 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu \text{ campuran} = 0,0047 \frac{kg}{m.s}$$

Trial : aliran turbulen, sehingga :

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad [30]$$

$$\text{dimana, } Q = \text{debit } \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$\rho = \text{densitas } \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times 0,0007^{0,45} \times 1.329,4068^{0,13} = 0,036 \text{ m} \approx 1,4168 \text{ in}$$

Dipilih *steel pipe* (IPS) untuk *comercial steel* berukuran 1,5 in sch 40 :

$$ID = 40,89 \text{ mm} \approx 0,0409 \text{ m}$$

$$OD = 48,26 \text{ mm} \approx 0,0483 \text{ m}$$

$$A = 0,0013 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} \approx \frac{0,0007 \frac{m^3}{s}}{0,0013 m^2} = 0,5608 \frac{m}{s}$$

Cek Trial :

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{1.329,4068 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,0409 \text{ m} \times 0,5608 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,0047 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}} = 6.485,7726 \text{ (turbulen)}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad [21]$$

Perhitungan Friksi :

a. Pipa lurus

$$F_f = \frac{4 \times f \times \Delta L \times v^2}{2 \times ID} \quad [21]$$

Pipa *commercial steel*, $\epsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$

$$\epsilon / ID = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,0409} = 0,0011$$

$$N_{re} = 6.485,7726$$

Dari Geankoplis (ϵ / ID vs N_{re}), diperoleh $f = 0,0049$

$$\Delta L = 31,5 \text{ m}$$

$$F_f = \frac{4 \times 0,0049 \times 31,5 \text{ m} \times (0,5608 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \times 0,0409 \text{ m}} = 2,3740 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

b. *Sudden contraction*

$$h_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = 1/2)

$$h_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} = 0,55 \times \left(1 - \frac{0,0013}{0,0081}\right) \times \frac{\left(0,5608 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 1}$$

$$= 0,0725 \frac{m^2}{s^2}$$

c. *Sudden enlargement*

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = 1/2)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

$$h_{ex} = \frac{v^2}{2\alpha} = \frac{\left(0,5608 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 1} = 0,1572 \frac{m^2}{s^2}$$

d. Friksi untuk elbow 90°

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$K_f = 0,75 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} = 0,75 \times \frac{\left(0,5608 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 0,1179 \frac{m^2}{s^2}$$

Digunakan 5 elbow 90°

$$h_f = 5 \times 0,1179 \frac{m^2}{s^2} = 0,5896 \frac{m^2}{s^2}$$

e. Friksi untuk *Gate valve*

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 0,17 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{(0,5608 m/s)^2}{2} = 1,0812 \text{ } m^2/s^2$$

f. Friksi untuk elbow tee

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 1 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 1 \times \frac{(0,5608 m/s)^2}{2} = 0,1572 \text{ } m^2/s^2$$

$$\text{Friksi Total } (\Sigma F) = 4,4318 \text{ } m^2/s^2$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{1}{2 \times 1} \left((0,5608 m/s)^2 - (0 m/s)^2 \right) + 9,8 m/s^2 (17,5 m - 3,8639 m) +$$

$$4,4318 m^2/s^2 + W_s = 0$$

$$-W_s = 137,91 \text{ } m^2/s^2 = 137,91 \text{ } j/kg$$

Untuk laju volumetrik air = 11,67 gal/min didapatkan harga efisiensi pompa

$$(\eta) = 25 \% \quad [21]$$

$$\text{brake kW} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 1000} \approx \frac{-w_s \times Q \times \rho}{\eta \times 1000}$$

[21]

$$= \frac{137,91 \frac{j}{kg} \times 0,0007 \frac{m^3}{s} \times 1.329,4068 \frac{kg}{m^3}}{0,25 \times 1000}$$

$$= 0,54 \text{ kW} \approx 0,72 \text{ Hp}$$

Untuk power pompa 0,54 kW didapat harga efisiensi motor = 78% [30]

$$\text{Sehingga dipakai pompa dengan motor} = \frac{100}{78} \times 0,72 \text{ Hp} = 0,93 \text{ Hp}$$

19. Tangki Penampung Gula Aren (F160)

Fungsi : untuk menampung sirup gula aren sementara

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis

Dasar pemilihan : cocok untuk menampung bahan baku yang berbentuk pasta

Kondisi operasi : T = 30°C

Perhitungan :

Massa air masuk = 286,31 kg

Massa aren solid = 594,64 kg

Massa total = 880,95 kg

$$\text{Fraksi air} = \frac{286,31}{286,31 + 594,64} = 0,33$$

$$\text{Fraksi aren solid} = \frac{594,64}{286,31 + 594,64} = 0,68$$

ρ aren solid = 1.580 kg/m³

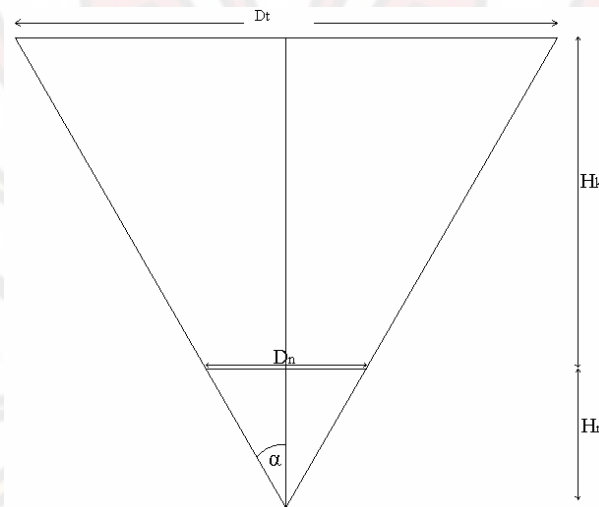
$$\rho_{\text{air}} = 995,68 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{campuran}} = \frac{1}{\left[\frac{0,33}{995,68} + \frac{0,68}{1.580} \right]} = 1.326,92 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volume campuran total} = \frac{880,95 \text{ kg}}{1.326,92 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,66 \text{ m}^3 = 23,44 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume campuran total, sehingga:

$$\text{Volume tangki penampung} = 1,3 \times 23,44 \text{ ft}^3 = 30,48 \text{ ft}^3$$



Ditetapkan : tinggi shell (H_t) = 1,5 diameter shell (D_t) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^\circ \text{ [28]}$$

Diameter nozzle (D_n) yang digunakan 4 inchi = 0,33 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times D_t^2 \times H_t = (\pi/4) \times 1,5 \times D_t^3$$

H_n = tinggi nozzle; H_k = tinggi konis

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} \text{ dan } H_k = \frac{D_t}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{D_t}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{D_t - D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$\text{Volume konis} = \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_t^2 \times (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times H_n$$

$$= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dt^2 \times \left(\frac{Dt - Dn}{2 \tan 30} + \frac{Dn}{2 \tan 30} \right) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dn^2 \times \frac{Dn}{2 \tan 30}$$

$$= \frac{\pi}{24 \tan 30} (Dt^3 - Dn^3)$$

Volume tangki = volume *shell* + volume konis

$$30,48 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3 + \frac{\pi}{24 \tan 30} (Dt^3 - Dn^3)$$

$$30,48 \text{ ft}^3 = 1,1775 Dt^3 + 0,23 Dt^3 - 0,0081$$

$$Dt = 2,79 \text{ ft}$$

$$Ht = 1,5 Dt = 1,5 \times 2,79 \text{ ft} = 4,18 \text{ ft}$$

$$Hn = \frac{Dn}{2 \tan \alpha} = \frac{0,33}{2 \tan 30} = 0,29 \text{ ft}$$

$$Hk = \frac{Dt}{2 \tan \alpha} - Hn = \frac{2,79}{2 \tan 30} - 0,29 = 2,13 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi tangki total} = Ht + Hk = (4,18 + 2,13) \text{ ft} = 6,31 \text{ ft}$$

$$\text{Volume larutan konis} = \frac{\pi}{24 \tan 30} (Dt^3 - Dn^3) = \frac{\pi}{24 \tan 30} (2,79^3 - 0,33^3) = 4,91 \text{ ft}^3$$

Volume larutan dalam tangki = volume larutan dalam *shell* + volume larutan dalam konis

$$23,44 \text{ ft}^3 = \text{volume air dalam } shell + 4,91 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam } shell = 18,53 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = (\pi/4) \times H_L \times Dt^2$$

$$18,53 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (2,79 \text{ ft})^2$$

$$\text{Tinggi larutan dalam shell } (H_L) = 3,03 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi larutan dalam tangki } (Z_t) = H_L + Hk = (3,03 + 2,13) \text{ ft} = 5,16 \text{ ft}$$

Tekanan operasi tangki

Tekanan udara = 1 atm = 14,70 psia

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{82,84 \times 5,16}{144} = 2,97 \text{ psia [28, Eq. 3.17]}$$

Tekanan operasi alat = tekanan udara + tekanan hidrostatik

$$= (14,70 + 2,97) \text{ psia} = 17,66 \text{ psia}$$

$$P_{\text{desain}} = 1,5 \times P_{\text{operasi}} = 1,5 \times 17,66 \text{ psia} = 26,50 \text{ psia} = 1,80 \text{ atm}$$

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah stainless steel-316L

- f_{all} = allowable stress = 23.000 lb/in²
- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, p.254, tabel 13.2)
- c = corrosion allowance = (1/8) = 0,125 in

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : t_s = thickness of shell (in)

P = internal design pressure (psi) = 26,50 psia

D = inside diameter (in) = 2,79 ft = 33,47 in

f = allowable working stress (psi) = 23000 psia

E = joint efficiency = 0,8

c = corrosion allowance = 0,125

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{26,50 \text{ psia} \times 33,47 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,15 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup konis

$$\text{Tebal konis} = \frac{P.D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c$$

$$= \frac{26,50 \text{ psi} \times 33,47 \text{ in}}{2 \cos 30 (23000 \text{ psi} \times 0,8 - 0,6 \times 26,50 \text{ psi})} + 0,125$$

$$= 0,15 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Spesifikasi alat :

Nama	: tangki penampung gula aren
Fungsi	: untuk menampung sirup gula aren sementara
Bahan konstruksi	: <i>stainless steel</i> -316L
Kapasitas	: 30,48 ft ³
Diameter tangki	: 2,79 ft
Tinggi shell	: 4,18 ft
Tinggi konis	: 2,13 ft
Tinggi tangki total	: 6,31 ft
Tebal shell	: 3/16 in
Tebal head	: 3/16 in
Tebal konis	: 3/16 in
Jumlah	: 1 buah

20. Tangki Mixing (M170)

Fungsi : untuk mencampur air teh, dekstrin dan sirup gula aren

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis yang dilengkapi dengan pengaduk

Dasar pemilihan : cocok untuk mencampur air teh, dekstrin dan sirup gula aren dan bagian bawah berbentuk konis untuk mempermudah proses pengeluaran

Kondisi operasi : $T = 95^{\circ}\text{C}$

$$\rho \text{ air teh} = 932,06 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ dekstrin} = 1.450 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ aren solid} = 1.580 \text{ kg/m}^3$$

Perhitungan :

Sirup gula aren:

Massa air dalam sirup gula aren = 286,31 kg

Massa aren solid dalam sirup gula aren = 594,64 kg

Sehingga:

$$\text{Fraksi air dalam sirup gula aren} = \frac{286,31}{286,31 + 594,64} = 0,33$$

$$\text{Fraksi aren solid dalam sirup gula aren} = \frac{594,64}{286,31 + 594,64} = 0,68$$

$$\rho \text{ sirup gula aren} = \frac{1}{\left[\frac{0,33}{932,06} + \frac{0,68}{1580} \right]} = 1.288,82 \text{ kg/m}^3$$

Massa air teh = 3.523,79 kg

Massa dekstrin = 264,28 kg

Massa sirup gula aren = 880,95 kg

$$\text{Fraksi air teh} = \frac{3.523,79}{3.523,79 + 264,28 + 880,95} = 0,75$$

$$\text{Fraksi dekstrin} = \frac{264,28}{3.523,79 + 264,28 + 880,95} = 0,06$$

$$\text{Fraksi sirup gula aren} = \frac{880,95}{3.523,79 + 264,28 + 880,95} = 0,19$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\left[\frac{0,75}{932,06} + \frac{0,06}{1450,00} + \frac{0,19}{1.288,82} \right]} = 1.004,86 \text{ kg/m}^3$$

$$= 62,73 \text{ lbm/ft}^3$$

massa campuran = massa air teh + massa dextrin + massa sirup gula aren

$$= (3.523,79 + 264,28 + 880,95) \text{ kg} = 4.669,02 \text{ kg}$$

$$\text{Volume campuran total} = \frac{4.669,02 \text{ kg}}{1004,86 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 4,65 \text{ m}^3 = 164,08 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume campuran total, sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki penampung} &= 1,3 \text{ volume campuran total} \\ &= 1,3 \times 164,08 \text{ ft}^3 = 213,31 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Ditetapkan : tinggi shell (Ht) = 1,5 diameter shell (Dt) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^\circ [28]$$

Diameter nozzle (Dn) yang digunakan 4 inchi = 0,33 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times Dt^2 \times Ht = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3$$

Hn = tinggi nozzle; Hk = tinggi konis

$$Hn = \frac{Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha} \text{ dan } Hk = \frac{Dt}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - Hn = \frac{Dt}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - \frac{Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{Dt - Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dt^2 \times (Hk + Hn) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dn^2 \times Hn \\ &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dt^2 \times \left(\frac{Dt - Dn}{2 \text{tg } 30} + \frac{Dn}{2 \text{tg } 30} \right) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dn^2 \times \frac{Dn}{2 \text{tg } 30} \\ &= \frac{\pi}{24 \text{tg } 30} (Dt^3 - Dn^3) \end{aligned}$$

Volume tangki = volume shell + volume konis

$$213,31 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3 + \frac{\pi}{24 \text{tg } 30} (Dt^3 - Dn^3)$$

$$213,31 \text{ ft}^3 = 1,1775 \text{ Dt}^3 + 0,23 \text{ Dt}^3 - 0,0081$$

$$\text{Dt} = 5,34 \text{ ft}$$

$$\text{Ht} = 1,5 \text{ Dt} = 1,5 \times 5,34 \text{ ft} = 8,00 \text{ ft}$$

$$\text{Hn} = \frac{\text{Dn}}{2 \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{0,33}{2 \text{tg} 30} = 0,29 \text{ ft}$$

$$\text{Hk} = \frac{\text{Dt}}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - \text{Hn} = \frac{5,34}{2 \text{tg} 30} - 0,29 = 4,33 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi larutan total} = \text{Ht} + \text{Hk} = (8,00 + 4,33) \text{ ft} = 12,33 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume larutan dalam konis} &= \frac{\pi}{24 \text{tg} 30} (\text{Dt}^3 - \text{Dn}^3) \\ &= \frac{\pi}{24 \text{tg} 30} (5,34^3 - 0,33^3) = 34,42 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volume larutan dalam tangki} = \text{volume larutan dalam shell} + \text{volume larutan dalam konis}$$

$$164,08 \text{ ft}^3 = \text{volume larutan dalam shell} + 34,42 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = 129,66 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = (\pi/4) \times \text{H}_L \times \text{Dt}^2$$

$$129,66 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times \text{H}_L \times (5,34 \text{ ft})^2$$

$$\text{Tinggi larutan dalam shell (H}_L) = 5,80 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi larutan dalam tangki (Zt)} = \text{H}_L + \text{Hk} = (5,80 + 4,33) \text{ ft} = 10,13 \text{ ft}$$

Tekanan operasi tangki

$$\text{Tekanan udara} = 1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psia}$$

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times \text{H}_{\text{bahan}}}{144} = \frac{62,73 \times 10,13}{144} = 4,41 \text{ psia} [28, \text{Eq. 3.17}]$$

$$\text{Tekanan operasi alat} = \text{tekanan udara} + \text{tekanan hidrostatik}$$

$$= (14,70 + 4,41) \text{ psia} = 19,11 \text{ psia}$$

$$P_{\text{desain}} = 1,5 \times P_{\text{operasi}} = 1,5 \times 19,11 \text{ psia} = 28,66 \text{ psia} = 1,95 \text{ atm}$$

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah stainless steel-316L

- f_{all} = allowable stress = 23.000 lb/in²
- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, p.254, tabel 13.2)
- c = corrosion allowance = (1/8) = 0,125 in

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : t_s = thickness of shell (in)

P = internal design pressure (psi) = 28,66 psia

D = inside diameter (in) = 5,34 ft = 64,02 in

f = allowable working stress (psi) = 23000 psia

E = joint efficiency = 0,8

c = corrosion allowance = 0,125

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{28,66 \text{ psia} \times 64,02 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,17 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup konis

$$\text{Tebal konis} = \frac{P.D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c$$

$$= \frac{28,66 \text{ psia} \times 64,02 \text{ in}}{2 \cos 30 (23000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 28,66 \text{ psia})} + 0,125$$

$$= 0,18 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Spesifikasi alat :

Nama : tangki mixer

Fungsi	: untuk mencampur air teh, dekstrin dan sirup gula aren
Bahan konstruksi	: <i>stainless steel-316L</i>
Kapasitas	: 213,31 ft ³
Diameter tangki	: 5,34 ft
Tinggi shell	: 8,00 ft
Tinggi konis	: 4,33 ft
Tinggi tangki total	: 12,33 ft
Tebal shell	: 3/16 in
Tebal head	: 3/16 in
Tebal konis	: 3/16 in
Jumlah	: 1 buah

Agitator M170

Ditetapkan:

1. Jenis agitator yang digunakan adalah *four blade paddle agitator*.

μ campuran = 0,00101 kg/m.s atau Pa.s

2. Bahan konstruksi *Stainless steel – 316L*

Dari Tabel 3.4-1 [21, p.158] diperoleh :

$$\frac{D_a}{D_t} = 0,6-0,8 \quad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \quad \frac{H}{D_t} = 1$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \quad \frac{C}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$$

Dimana: D_a = diameter pengaduk

D_t = diameter tangki

W = lebar *blade*

H = tinggi cairan dalam tangki

L = panjang *blade*

C = jarak pengaduk dari dasar tangki

J = lebar *baffle*

Sehingga didapatkan :

1. Diameter pengaduk (D_a)

$$\frac{D_a}{D_t} = 0,7 \rightarrow D_a = 0,7 D_t = 0,7 \cdot 1,63 \text{ m} = 1,14 \text{ m}$$

2. Lebar *blade* (W)

$$\frac{W}{D_a} = 0,2 \rightarrow W = 0,2 D_a = 0,2 \cdot 1,14 \text{ m} = 0,23 \text{ m}$$

3. Panjang *blade* (L)

$$\frac{L}{D_a} = 0,25 \rightarrow L = 0,25 D_a = 0,25 \cdot 1,14 \text{ m} = 0,28 \text{ m}$$

4. Jarak pengaduk dari dasar tangki (C)

$$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3} \rightarrow C = \frac{1}{3} D_t = \frac{1}{3} \cdot 1,63 \text{ m} = 0,54 \text{ m}$$

5. Lebar *baffle* (J)

$$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \rightarrow J = \frac{1}{12} D_t = \frac{1}{12} \cdot 1,63 \text{ m} = 0,14 \text{ m}$$

Perhitungan kecepatan pengadukan :

Syarat :

- Kecepatan agitator (N) antara 20 – 150 rpm [31, p.238]

$$N = 100 \text{ rpm} = 1,67 \text{ rps}$$

Power yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan [21, p.158]:

$$N_{Re} = \frac{\rho \times N \times Da^2}{\mu}$$

Dimana: Da = diameter pengaduk (m)

N = kecepatan putaran pengaduk (rps)

ρ = densitas (kg/m^3)

μ = viskositas (kg/m.s)

$$N_{Re} = \frac{1.004,86 \text{ kg/m}^3 \times 1,67 \text{ rps} \times (0,65 \text{ m})^2}{0,00101 \text{ kg/m.s}} = 2.149.808,50 \rightarrow \text{Turbulen}$$

Nilai N_p dapat dicari dari literatur [21, Fig. 3.4-5]

untuk nilai $N_{Re} = 2.149.808,5$ dan untuk jenis *four blade paddle agitator* maka:

$$\begin{aligned} N_p &= 215 \times (N_{Re})^{-0,955} \\ &= 215 \times (2.149.808,5)^{-0,955} \\ &= 0,00019 \end{aligned}$$

$$P = N_p \times \rho \times N^3 \times Da^5 \quad [21, \text{p.159}]$$

$$P = 0,00019 \times 1.004,86 \text{ kg/m}^3 \times (1,67)^3 \times (1,14 \text{ m})^5$$

$$P = 1,71 \text{ W} = 0,0023 \text{ Hp}$$

Effisiensi motor = 80%

$$P = \frac{0,0023 \text{ hp}}{0,8} \times 2 = 0,00575 \text{ Hp} = 0,5 \text{ Hp}$$

Jaket Pemanas

Ditetapkan :

Steam yang digunakan adalah *saturated steam* 198,53 kPa dengan suhu 120°C.

$$\text{Spesifik volume} = 0,8908 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (21, \text{A.2-9})$$

$$\rho = (\text{spesifik volume})^{-1} = (0,8908 \text{ m}^3/\text{kg})^{-1} = 1,12 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Entalpi: } \textit{saturated vapor} (h_g) = 2.706,30 \text{ kJ/kg}$$

$$\textit{Saturated liquid} (h_f) = 503,71 \text{ kJ/kg}$$

$$\lambda = h_g - h_f = 2.706,30 - 503,71 = 2.202,59 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{gw} = h_f + \lambda \cdot x, \text{ dimana } x = \text{kualitas steam (90\%)}$$

$$= 503,71 + 2.202,59 \cdot 0,9$$

$$= 2.486,04 \text{ kJ/kg}$$

$$\lambda_w = h_{gw} - h_f = 2.486,04 - 503,71 = 1982,33 \text{ kJ/kg}$$

Asumsi :

$$H_{\text{jaket}} = H_{\text{shell}} = 2,44 \text{ m}$$

Perhitungan:

$$D_v \text{ (diameter shell)} = 1,63 \text{ m}$$

$$Q_{\text{steam}} \text{ (dari neraca panas)} = 562.740,63 \text{ kJ/batch}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa steam} &= \frac{Q_{\text{steam}}}{\lambda_{\text{wet_steam}}} \\ &= \frac{562.740,63}{1.982,33} = 283,88 \text{ kg/batch} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{volume steam} &= \frac{\text{massa}}{\rho} \\ &= \frac{283,88}{1,12} = 252,89 \text{ m}^3/\text{batch} \end{aligned}$$

$$\text{Waktu tinggal steam} = 5 \text{ detik}$$

$$\text{Volume steam / 5 detik (Vs)} = 252,89 \times \frac{1}{1 \times 60} \times \frac{1}{60} \times 5 = 0,35 \text{ m}^3$$

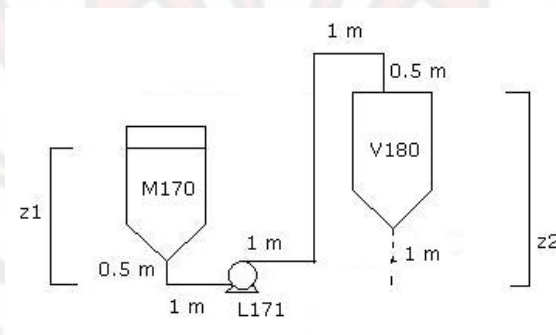
t = tebal jaket

$$V_s = t \times H_{\text{jaket}} \times (D_v + 2t)$$

$$0,35 = t \times 2,44 \times (1,63 + 2t)$$

$$t = 0,08 \text{ m}$$

21. Pompa L171



Fungsi: mengalirkan campuran air teh dari tangki *mixing* M170 ke tangki evaporator F180

Perhitungan:

Pompa bekerja 15 menit/batch

$$\text{Rate volumetrik} = 4,6464 \text{ m}^3/\text{batch} \approx 0,0052 \text{ m}^3/\text{s} \approx 81,83 \text{ gal/min}$$

$$\rho \text{ campuran} = 1.004,86 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu \text{ campuran} = 0,00101 \text{ kg/m.s}$$

Trial : aliran turbulen, sehingga :

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad [30]$$

dimana, Q = debit (m^3/s)

$$\rho = \text{densitas (kg/m}^3\text{)}$$

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times 0,0052^{0,45} \times 1.004,86^{0,13} = 0,0834 \text{ m} \approx 3,2820 \text{ in}$$

Dipilih *steel pipe* (IPS) untuk *comercial steel* berukuran 3,5 in sch 40 :

$$ID = 90,12 \text{ mm} \approx 0,0912 \text{ m}$$

$$OD = 101,6 \text{ mm} \approx 0,1016 \text{ m}$$

$$A = 0,0064 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} \approx \frac{0,0052 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0064 \text{ m}^2} = 0,8093 \text{ m/s}$$

Cek Trial :

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{1.004,86 \text{ kg/m}^3 \times 0,0901 \text{ m} \times 0,8093 \text{ m/s}}{0,00101 \text{ kg/m.s}} = 72.608,9365 \text{ (turbulen)}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad [21]$$

Perhitungan Friksi :

a. Pipa lurus

$$F_f = \frac{4 \times f \times \Delta L \times v^2}{2 \times ID} \quad [21]$$

Pipa *comercial steel*, $\epsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$

$$\epsilon/ID = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,0901} = 0,00059$$

$$Nre = 2272.608,9365$$

Dari Geankoplis (ϵ/ID vs Nre), diperoleh $f = 0,0047$

$$\Delta L = 9,26 \text{ m}$$

$$Ff = \frac{4 \times 0,0047 \times 9,26 \text{ m} \times \left(0,8093 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 0,0901 \text{ m}} = 0,6325 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

b. *Sudden contraction*

$$hc = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

$$\begin{aligned} hc &= 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} = 0,55 \times \left(1 - \frac{0,0064}{0,0081}\right) \times \frac{\left(0,8093 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 1} \\ &= 0,0383 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \end{aligned}$$

c. *Sudden enlargement*

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

$$h_{ex} = \frac{v^2}{2\alpha} = \frac{\left(0,8093 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 1} = 0,3275 \frac{m^2}{s^2}$$

d. Friksi untuk elbow 90°

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$K_f = 0,75 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} = 0,75 \times \frac{\left(0,8093 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 0,2456 \frac{m^2}{s^2}$$

Digunakan 4 elbow 90°

$$h_f = 4 \times 0,5191 \frac{m^2}{s^2} = 0,9825 \frac{m^2}{s^2}$$

e. Friksi untuk *Gate valve*

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$K_f = 0,17 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{\left(0,8093 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 0,5191 \frac{m^2}{s^2}$$

$$\text{Friksi Total } (\Sigma F) = 2,4999 \frac{m^2}{s^2}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{1}{2 \times 1} \left(\left(0,8093 \frac{m}{s} \right)^2 - \left(0 \frac{m}{s} \right)^2 \right) + 9,8 \frac{m}{s^2} (4,7582m - 3,5882m) +$$

$$2,4999 \frac{m^2}{s^2} + W_s = 0$$

$$-W_s = 13,64 \frac{m^2}{s^2} = 13,64 \frac{j}{kg}$$

Untuk laju volumetrik air = 81,83 gal/min didapatkan harga efisiensi pompa

$$(\eta) = 30\% \quad [21]$$

$$\text{brake kW} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 1000} \approx \frac{-w_s \times Q \times \rho}{\eta \times 1000}$$

[21]

$$= \frac{13,77 \frac{j}{kg} \times 0,0052 \frac{m^3}{s} \times 1.004,86 \frac{kg}{m^3}}{0,3 \times 1000}$$

$$= 0,24 \text{ kW} \approx 0,32 \text{ Hp}$$

Untuk power pompa 0,24 kW didapat harga efisiensi motor = 77% [30]

$$\text{Sehingga dipakai pompa dengan motor} = \frac{100}{77} \times 0,32 \text{ Hp} = 0,41 \text{ Hp}$$

22. Tangki Evaporator (F180)

Fungsi : untuk memekatkan teh cair sebelum diproses menjadi teh bubuk

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *dished head* dan tutup bawah berbentuk

konis yang dilengkapi dengan coil sebagai pemanas

Dasar pemilihan : cocok untuk memekatkan teh cair dengan proses batch dan bagian

bawah berbentuk konis untuk mempermudah proses pengeluaran

Kondisi operasi : T = 97°C

$$\rho \text{ air teh} = 932,06 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ dekstrin} = 1.450 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ sirup aren solid} = 1.288,82 \text{ kg/m}^3$$

Perhitungan :

$$\text{Massa air teh} = 3.523,79 \text{ kg}$$

$$\text{Massa dekstrin} = 264,28 \text{ kg}$$

$$\text{Massa sirup gula aren} = 880,95 \text{ kg}$$

$$\text{Fraksi air teh} = \frac{3.523,79}{3.523,79 + 264,28 + 880,95} = 0,75$$

$$\text{Fraksi dekstrin} = \frac{264,28}{3.523,79 + 264,28 + 880,95} = 0,06$$

$$\text{Fraksi sirup gula aren} = \frac{880,95}{3.523,79 + 264,28 + 880,95} = 0,19$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\left[\frac{0,75}{932,06} + \frac{0,06}{1450,00} + \frac{0,19}{1.288,82} \right]} = 1.004,86 \text{ kg/m}^3$$

$$= 62,73 \text{ lbm/ft}^3$$

$$\text{massa campuran} = \text{massa air teh} + \text{massa dextrin} + \text{massa sirup gula aren}$$

$$= (3.523,79 + 264,28 + 880,95) \text{ kg} = 4.669,02 \text{ kg}$$

$$\text{Volume campuran total} = \frac{4.669,02 \text{ kg}}{1004,86 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 4,65 \text{ m}^3 = 164,08 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume campuran total, sehingga:

$$\text{Volume tangki penampung} = 1,3 \text{ volume campuran total}$$

$$= 1,3 \times 164,08 \text{ ft}^3 = 213,31 \text{ ft}^3$$

Ditetapkan : tinggi shell (Ht) = 1,5 diameter shell (Dt) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^\circ [28]$$

Diameter nozzle (Dn) yang digunakan 4 inchi = 0,33 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times Dt^2 \times Ht = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3$$

Hn = tinggi nozzle; Hk = tinggi konis

$$Hn = \frac{Dn}{2.tg \alpha} \text{ dan } Hk = \frac{Dt}{2.tg \alpha} - Hn = \frac{Dt}{2.tg \alpha} - \frac{Dn}{2.tg \alpha} = \frac{Dt - Dn}{2.tg \alpha}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dt^2 \times (Hk + Hn) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dn^2 \times Hn \\ &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dt^2 \times \left(\frac{Dt - Dn}{2.tg 30} + \frac{Dn}{2.tg 30} \right) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dn^2 \times \frac{Dn}{2.tg 30} \\ &= \frac{\pi}{24.tg 30} (Dt^3 - Dn^3) \end{aligned}$$

Volume tangki = volume *shell* + volume konis

$$213,31 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3 + \frac{\pi}{24.tg 30} (Dt^3 - Dn^3)$$

$$213,31 \text{ ft}^3 = 1,1775 Dt^3 + 0,23 Dt^3 - 0,0081$$

$$Dt = 5,34 \text{ ft}$$

$$Ht = 1,5 Dt = 1,5 \times 5,34 \text{ ft} = 8,00 \text{ ft}$$

$$Hn = \frac{Dn}{2.tg \alpha} = \frac{0,33}{2.tg 30} = 0,29 \text{ ft}$$

$$Hk = \frac{Dt}{2.tg \alpha} - Hn = \frac{5,34}{2.tg 30} - 0,29 = 4,33 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi larutan total} = Ht + Hk = (8,00 + 4,33) \text{ ft} = 12,33 \text{ ft}$$

$$\text{Volume larutan dalam konis} = \frac{\pi}{24.tg 30} (Dt^3 - Dn^3)$$

$$= \frac{\pi}{24 \tan 30} (5,34^3 - 0,33^3) = 34,42 \text{ ft}^3$$

Volume larutan dalam tangki = volume larutan dalam *shell* + volume larutan dalam konis

$$164,08 \text{ ft}^3 = \text{volume larutan dalam } shell + 34,42 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam } shell = 129,66 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = (\pi/4) \times H_L \times D^2$$

$$129,66 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (5,34 \text{ ft})^2$$

$$\text{Tinggi larutan dalam shell } (H_L) = 5,80 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi larutan dalam tangki } (Z_t) = H_L + H_k = (5,80 + 4,33) \text{ ft} = 10,13 \text{ ft}$$

Tekanan operasi tangki

$$\text{Tekanan udara} = 1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psia}$$

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{62,73 \times 10,13}{144} = 4,41 \text{ psia [28, Eq. 3.17]}$$

$$\text{Tekanan operasi alat} = \text{tekanan udara} + \text{tekanan hidrostatik}$$

$$= (14,70 + 4,41) \text{ psia} = 19,11 \text{ psia}$$

$$P_{\text{desain}} = 1,5 \times P_{\text{operasi}} = 1,5 \times 19,11 \text{ psia} = 28,66 \text{ psia} = 1,95 \text{ atm}$$

Tebal tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah stainless steel-316L

- f_{all} = allowable stress = 23.000 lb/in²
- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, p.254, tabel 13.2)
- c = corrosion allowance = (1/8) = 0,125 in

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : t_s = thickness of shell (in)

P = internal design pressure (psi) = 28,66 psia

D = inside diameter (in) = 5,34 ft = 64,02 in

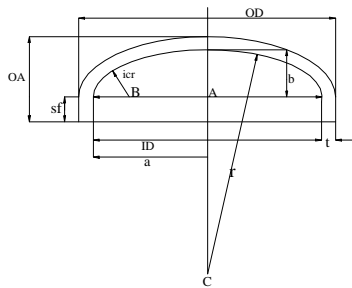
f = allowable working stress (psi) = 23000 psia

E = joint efficiency = 0,8

c = corrosion allowance = 0,125

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{28,66 \text{ psia} \times 64,02 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,17 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Tebal Dished Head



r (crown radius / radius of dish) = 32,01 in

icr (inside corner radius / knuckle radius) = 6% x 32,01 in = 1,921 in

$$W = \frac{1}{4} \times \left[3 + \sqrt{\frac{r}{icr}} \right] \quad [28, \text{pers } 7.76]$$

$$= \frac{1}{4} \times \left[3 + \sqrt{\frac{32,01}{1,921}} \right] = 1,77$$

$$a = \frac{ID}{2} = \frac{32,01 \text{ in}}{2} = 16,005 \text{ in}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr = \frac{32,01 \text{ in}}{2} - 1,921 \text{ in} = 14,084 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = (32,01 - 1,921) \text{ in} = 30,089 \text{ in}$$

$$b = r - \sqrt{BC^2 - AB^2} = 32,01 - \sqrt{30,089^2 - 14,084^2} = 5,42 \text{ in}$$

$$t_d = \frac{P \times r \times W}{2 \times f \times E - 0,2 \times P} + c \quad [28, \text{pers 7.77, p.138}]$$

$$t_d = \frac{14,7 \text{ psia} \times 32,01 \text{ in} \times 1,77}{2 \times 23000 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times 0,8 - 0,2 \times 14,7 \text{ psia}} + 0,125 = 0,15 \text{ in} \approx \frac{3}{16} \text{ in}$$

Dipilih panjang straight-flange (sf) = 3 ½ in [28, tabel 5.8, hal.93]

$$OA = t_d + b + sf = \left(\frac{3}{16} + 5,42 + 3 \frac{1}{2} \right) \text{ in} = 9,11 \text{ in} = 0,76 \text{ ft} = 0,23 \text{ m}$$

Tebal tutup konis

$$\begin{aligned} \text{Tebal konis} &= \frac{P.D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c \\ &= \frac{28,66 \text{ psia} \times 64,02 \text{ in}}{2 \cos 30 (23000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 28,66 \text{ psia})} + 0,125 \\ &= 0,18 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama	: evaporator
Fungsi	: untuk memekatkan teh cair sebelum diproses menjadi teh bubuk
Bahan konstruksi	: <i>stainless steel</i> -316L
Kapasitas	: 213,31 ft ³
Diameter tangki	: 5,34 ft
Tinggi shell	: 8,00 ft
Tinggi konis	: 4,33 ft
Tinggi tangki total	: 12,33 ft
Tebal shell	: 3/16 in
Tebal head	: 3/16 in
Tebal konis	: 3/16 in
Jumlah	: 1 buah

Coil

Massa steam yang dibutuhkan untuk memanaskan (dari neraca panas):

$$m = 289,3066 \text{ kg}$$

Mencari dimensi coil

Ukuran pipa coil yang digunakan [29] 1 in sch 80:

$$d_o = 1,32 \text{ in}$$

$$d_i = 1,049 \text{ in}$$

$$a_t = 0,864 \text{ in}^2$$

$$a''_t = 0,344 \text{ ft}^2/\text{lin ft}$$

$$D_{\text{tangki}} = 5,34 \text{ ft}$$

$$h_{i_o} = 1.500 \text{ btu/jam.ft.}^\circ\text{F}$$

$$h_o = 3000 \text{ btu/jam.ft}^2.^\circ\text{F}$$

$$U_c = \frac{h_{i_o} \times h_o}{h_{i_o} + h_o} = \frac{1.500 \times 3000}{1.500 + 3000} = 1000 \text{ btu/jam.ft.}^\circ\text{F}$$

$$R_d = 0,0015 \text{ jam.ft}^2.^\circ\text{F/btu}$$

$$U_d = \frac{1}{R_d + \frac{1}{U_c}} = \frac{1}{0,0015 + \frac{1}{1000}} = 400 \text{ btu/jam.ft}^2.^\circ\text{F} \approx 2,271 \text{ kJ/s.m}^2.\text{K}$$

$$Q_{\text{steam}} (\text{dari neraca panas}) = 5.684.822,35 \text{ kJ/batch} \approx 631,65 \text{ kJ/s}$$

$$t_2 (\text{suhu bahan masuk}) = 368 \text{ K}$$

$$t_1 (\text{suhu bahan keluar}) = 370 \text{ K}$$

$$T_1, T_2 = 393 \text{ K}$$

$$\begin{aligned}\Delta T_{LMTD} &= \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)} \\ &= \frac{(393 - 368) - (393 - 370)}{\ln\left(\frac{393 - 368}{393 - 370}\right)} \\ &= 23,99 \text{ K}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{coil} &= \frac{Q}{Ud \times \Delta T_{LMTD}} \\ &= \frac{631,65 \text{ kJ} / \text{s}}{2,271 \text{ kJ} / \text{s.m}^2 \cdot \text{K} \times 23,99 \text{ K}} \\ &= 11,59 \text{ m}^2 \approx 124,79 \text{ ft}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L \text{ (panjang coil)} &= \frac{A_{coil}}{a''t} \\ &= \frac{124,79 \text{ ft}^2}{0,344 \text{ ft}^2 / \text{lin ft}} = 362,78 \text{ ft}\end{aligned}$$

Ditetapkan:

$$D_{coil} = 0,65 \times D_t = 0,65 \times 5,34 \approx 3,47 \text{ ft}$$

Sc (jarak antar coil) = 1 - 2 in; dipilih Sc = 1 in

$$\begin{aligned}n_c &= \frac{L}{\pi \times D_{coil}} \\ &= \frac{362,78 \text{ ft}}{\pi \times 3,47 \text{ ft}} = 33,3 \text{ putaran} = 34 \text{ putaran}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h_c \text{ (tinggi coil)} &= [(n_c - 1) \times (d_o + S_c)] + d_o \\ &= [(34 - 1) \times (1,32 + 1)] \text{ in} + 1,32 \text{ in} \\ &= 76,26 \text{ in} = 6,35 \text{ ft}\end{aligned}$$

23. Barometric condensor (G183)

Fungsi : Mengkondensasikan uap dari evaporator teh

Tipe : counter flow Barometric Condensor

Dasar pemilihan : konstruksi lebih murah dan luas permukaan kontak lebih besar

Perhitungan :

Rate uap pada 120°C (248°F) (v) = 2.673,73 kg/batch

λ uap pada 248°F (λ) = 2706,3 – 503,71 = 2202,59 kJ/kg [21, App. A.2-9]

$$Q = v \cdot \lambda = 2.673,73 \text{ kg/batch} \times 2202,59 \text{ kJ/kg} \\ = 5.889.135,52 \text{ kJ/batch} = 2.790.900,77 \text{ Btu/jam}$$

Kebutuhan air pendingin

$$W \text{ (gpm)} = \frac{Q}{500(T_s - t_w - t_a)} \quad [29, \text{pers 14.4, pg. 396}]$$

Dimana :

T_s = suhu uap jenuh = 248°F

t_w = suhu air pendingin = 30°C = 86°F

t_a = derajat pendekatan terhadap T_s

untuk counter flow barometric condensor, $t_a = 5^\circ\text{F}$ [29, pg. 397]

$$W = \frac{2.790.900,77 \text{ btu/jam}}{500(248 - 86 - 5)^\circ\text{F}} = 35,55 \text{ gpm}$$

Spesifikasi :

Tipe = counter flow barometric condensor

Rate uap = 2.673,73 kg/batch

Kebutuhan air pendingin = 35,55 gpm

Bahan = *Stainless steel 316L*

Jumlah = 1 buah

24. Bak baromatic condenser (F184)

Fungsi : untuk menampung kondensasi uap air *barometric condenser*

Penghitungan :

Uap air yang menuju ke *barometric condenser* sebesar 2.673,73 kg/batch. Bak *barometric* dirancang untuk kapasitas 1 hari. Banyak air yang ditampung dalam 1 hari sebesar 24,17 m³.

Dengan asumsi Volume air = 80% volume bak

$$\text{Volume bak} = 100/80 \cdot 24,17 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume bak} = 30,21 \text{ m}^3$$

Diinginkan ukuran bak (p:l:t) = 2:2:3

$$\text{Volume bak} = p \times l \times t$$

$$30,21 \text{ m}^3 = 2x \cdot 2x \cdot 3x$$

$$X = 1,36 \text{ m}$$

$$\text{Ukuran bak : } p = 2x = 2 \times 1,36 \text{ m} = 2,71 \text{ m}$$

$$l = 2x = 2 \times 1,36 \text{ m} = 2,71 \text{ m}$$

$$t = 3x = 3 \times 1,36 \text{ m} = 4,07 \text{ m}$$

25. Tangki Penampung (F181)

Fungsi : untuk menampung teh bubuk sementara dan menjaga *continuitas* antara evaporator dan spray dryer

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis yang dilengkapi dengan coil sebagai pemanas

Dasar pemilihan : cocok untuk memekatkan teh cair dengan proses batch dan bagian bawah berbentuk konis untuk mempermudah proses pengeluaran

Kondisi operasi : $T = 82,37^{\circ}\text{C}$

$$\rho \text{ air teh} = 932,06 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ dekstrin} = 1.450 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ aren solid} = 1.580,00 \text{ kg/m}^3$$

Perhitungan :

$$\text{Massa air teh} = 2.272,73 \text{ kg}$$

$$\text{Massa dekstrin} = 528,57 \text{ kg}$$

$$\text{Massa aren solid} = 1.189,28 \text{ kg}$$

$$\text{Fraksi air teh} = \frac{2.272,73}{2.272,73 + 528,57 + 1.189,28} = 0,57$$

$$\text{Fraksi dekstrin} = \frac{528,57}{2.272,73 + 528,57 + 1.189,28} = 0,13$$

$$\text{Fraksi aren solid} = \frac{1.189,28}{2.272,73 + 528,57 + 1.189,28} = 0,30$$

$$\begin{aligned} \rho \text{ campuran} &= \frac{1}{\left[\frac{0,57}{932,06} + \frac{0,13}{1450,00} + \frac{0,30}{1.580,00} \right]} = 1.122,33 \text{ kg/m}^3 \\ &= 70,07 \text{ lbm/ft}^3 \end{aligned}$$

$$\text{massa campuran} = \text{massa air teh} + \text{massa dextrin} + \text{massa aren solid}$$

$$= (2.272,73 + 528,57 + 1.189,28) \text{ kg} = 3.990,57 \text{ kg}$$

$$\text{Volume campuran total} = \frac{3.990,57 \text{ kg}}{1.122,33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 3,56 \text{ m}^3 = 125,56 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume campuran total, sehingga:

$$\text{Volume tangki penampung} = 1,3 \text{ volume campuran total}$$

$$= 1,3 \times 125,56 \text{ ft}^3 = 163,23 \text{ ft}^3$$

Ditetapkan : tinggi shell (H_t) = 1,5 diameter shell (D_t) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^\circ \text{ [28]}$$

Diameter nozzle (D_n) yang digunakan 4 inchi = 0,33 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times D_t^2 \times H_t = (\pi/4) \times 1,5 \times D_t^3$$

H_n = tinggi nozzle; H_k = tinggi konis

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } \alpha} \text{ dan } H_k = \frac{D_t}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - H_n = \frac{D_t}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{D_t - D_n}{2 \cdot \text{tg } \alpha}$$

$$\text{Volume konis} = \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_t^2 \times (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times H_n$$

$$= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_t^2 \times \left(\frac{D_t - D_n}{2 \cdot \text{tg } 30} + \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } 30} \right) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } 30}$$

$$= \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg } 30} (D_t^3 - D_n^3)$$

Volume tangki = volume *shell* + volume konis

$$163,23 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times D_t^3 + \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg } 30} (D_t^3 - D_n^3)$$

$$163,23 \text{ ft}^3 = 1,1775 D_t^3 + 0,23 D_t^3 - 0,0081$$

$$D_t = 4,88 \text{ ft}$$

$$H_t = 1,5 D_t = 1,5 \times 4,88 \text{ ft} = 7,32 \text{ ft}$$

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{0,33}{2 \cdot \text{tg } 30} = 0,29 \text{ ft}$$

$$H_k = \frac{D_t}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - H_n = \frac{4,88}{2 \cdot \text{tg } 30} - 0,29 = 3,94 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi tangki total} = H_t + H_k = (7,32 + 3,94) \text{ ft} = 11,26 \text{ ft}$$

$$\text{Volume larutan dalam konis} = \frac{\pi}{24 \tan 30} (D_t^3 - D_n^3)$$

$$= \frac{\pi}{24 \tan 30} (4,88^3 - 0,33^3) = 26,34 \text{ ft}^3$$

Volume larutan dalam tangki = volume larutan dalam *shell* + volume larutan dalam konis

$$125,56 \text{ ft}^3 = \text{volume larutan dalam shell} + 26,34 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = 99,22 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = (\pi/4) \times H_L \times D_t^2$$

$$99,22 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (4,88 \text{ ft})^2$$

$$\text{Tinggi larutan dalam shell (H}_L\text{)} = 5,31 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi larutan dalam tangki (Z}_t\text{)} = H_L + H_k = (5,31 + 3,94) \text{ ft} = 9,24 \text{ ft}$$

Tekanan operasi tangki

$$\text{Tekanan udara} = 1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psia}$$

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{70,07 \times 9,24}{144} = 4,5 \text{ psia [28, Eq. 3.17]}$$

$$\text{Tekanan operasi alat} = \text{tekanan udara} + \text{tekanan hidrostatik}$$

$$= (14,70 + 4,5) \text{ psia} = 19,19 \text{ psia}$$

$$P_{\text{desain}} = 1,5 \times P_{\text{operasi}} = 1,5 \times 19,19 \text{ psia} = 28,79 \text{ psia} = 1,96 \text{ atm}$$

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah stainless steel-316L

- f_{all} = allowable stress = 23.000 lb/in²
- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, p.254, tabel 13.2)
- c = corrosion allowance = (1/8) = 0,125 in

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : t_s = thickness of shell (in)

P = internal design pressure (psi) = 28,79 psia

D = inside diameter (in) = 3,87 ft = 46,48 in

f = allowable working stress (psi) = 23000 psia

E = joint efficiency = 0,8

c = corrosion allowance = 0,125

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{28,79 \text{ psia} \times 46,48 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,17 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup konis

$$\begin{aligned} \text{Tebal konis} &= \frac{P \cdot D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c \\ &= \frac{28,79 \text{ psia} \times 46,48 \text{ in}}{2 \cos 30 (23000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 27,36 \text{ psia})} + 0,125 \\ &= 0,18 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama : evaporator

Fungsi : untuk menampung teh bubuk sementara dan menjaga continuitas antara evaporator dan spray dryer

Bahan konstruksi : stainless steel-316L

Kapasitas : 81,61 ft³

Diameter tangki : 4,88 ft

Tinggi shell : 7,32 ft

Tinggi konis : 3,94 ft

Tinggi tangki total : 11,26 ft

Tebal shell : 3/16 in

Tebal head : 3/16 in

Jumlah : 1 buah

Diagram illustrating a chemical process involving two stirred tanks, F181 and B190, and a pump L182. The tanks are connected by a pipe. The height of tank F181 is z_1 and the height of tank B190 is z_2 . The diameter of both tanks is 0.5 m. The distance between the bottom of tank F181 and the bottom of tank B190 is 8 m. The pump L182 is located 1 m from the bottom of tank F181 and 1 m from the bottom of tank B190. The horizontal distance between the tanks is 1 m.

Perhitungan:

$$\text{Rate volumetrik} = 3,5556 \frac{m^3}{\text{batch}} \approx 0,001 \frac{m^3}{s} \approx 15,65 \text{ gal/min}$$

$$\rho \text{ campuran} = 1.122,3263 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\mu \text{ campuran} = 0,00101 \frac{kg}{m.s}$$

Trial : aliran turbulen, sehingga :

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad [30]$$

dimana, $Q = \text{debit } (m^3/s)$

$$\rho = \text{densitas } (\frac{kg}{m^3})$$

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times 0,002^{0,45} \times 1.122,3263^{0,13} = 0,0402 \text{ m} \approx 1,5818 \text{ in}$$

Dipilih *steel pipe* (IPS) untuk *comercial steel* berukuran 1,25 in sch 40 :

$$ID = 35,05 \text{ mm} \approx 0,0351 \text{ m}$$

$$OD = 42,16 \text{ mm} \approx 0,0422 \text{ m}$$

$$A = 0,001 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} \approx \frac{0,0009 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,001 \text{ m}^2} = 1,0237 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cek Trial :

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{1.122,3263 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,0351 \text{ m} \times 1,0237 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,00101 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}} = 39.895,3106 \text{ (turbulen)}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad [21]$$

Perhitungan Friksi :

a. Pipa lurus

$$F_f = \frac{4 \times f \times \Delta L \times v^2}{2 \times ID} \quad [21]$$

Pipa *comercial steel*, $\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$

$$\frac{\varepsilon}{ID} = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,0627} = 0,0013$$

$$N_{re} = 39.895,3106$$

Dari Geankoplis ($\frac{\varepsilon}{ID}$ vs N_{re}), diperoleh $f = 0,006$

$$\Delta L = 20,19 \text{ m}$$

$$Ff = \frac{4 \times 0,006 \times 20,19 \text{ m} \times \left(1,0237 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 0,0351 \text{ m}} = 7,2441 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

b. Sudden contraction

$$h_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

$$\begin{aligned} h_c &= 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} = 0,55 \times \left(1 - \frac{0,0031}{0,0081}\right) \times \frac{\left(1,0237 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 1} \\ &= 0,2539 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \end{aligned}$$

c. Sudden enlargement

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

$$h_{ex} = \frac{v^2}{2\alpha} = \frac{\left(1,0237 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 1} = 0,5240 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

d. Friksi untuk elbow 90°

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 0,75 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,75 \times \frac{(1,0237 \text{ m/s})^2}{2} = 0,3930 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Digunakan 4 elbow 90°

$$hf = 4 \times 0,3930 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 1,5720 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

e. Friksi untuk *Gate valve*

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 0,17 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{(1,0237 \text{ m/s})^2}{2} = 0,3244 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\text{Friksi Total } (\Sigma F) = 9,9183 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{1}{2 \times 1} \left((1,0237 \text{ m/s})^2 - (0 \text{ m/s})^2 \right) + 9,8 \text{ m/s}^2 (15,69 \text{ m} - 3,3173 \text{ m}) +$$

$$9,9183 \text{ m}^2/\text{s}^2 + W_s = 0$$

$$-W_s = 130,65 \frac{m^2}{s^2} = 130,65 \frac{J}{kg}$$

Untuk laju volumetrik air = 15,65 gal/min didapatkan harga efisiensi pompa

$$(\eta) = 50 \% \quad [21]$$

$$\text{brake kW} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 1000} \approx \frac{-w_s \times Q \times \rho}{\eta \times 1000}$$

[21]

$$= \frac{130,65 \frac{J}{kg} \times 0,001 \frac{m^3}{s} \times 1.122,3263 \frac{kg}{m^3}}{0,5 \times 1000}$$

$$= 0,4 \text{ kW} \approx 0,54 \text{ Hp}$$

Untuk power pompa 0,4 kW didapat harga efisiensi motor = 77% [30]

$$\text{Sehingga dipakai pompa dengan motor} = \frac{100}{77} \times 0,54 \text{ Hp} = 0,696 \text{ Hp}$$

27. Spray Dryer (B190)

Fungsi : Untuk mengeringkan teh pekat menjadi teh bubuk

Tipe : Bejana silinder dengan bagian bawah berbentuk konis dan tutup atas berbentuk *dished head*

Kapasitas : 798,11 kg/jam

Kondisi operasi :

- Tekanan operasi = 1atm=101,325 kPa
- Temperatur bahan masuk = 89,83°C
- Temperatur udara panas masuk = 125°C

Laju pengeringan 427,86 kg air/jam [30, Fig. 20-72]

Diameter = 18,00 ft =

Berdasarkan laju pengeringan dan suhu udara masuk dipilih :

Volume *chamber* = 3.000 ft³ 5,49 m

[30, Fig. 20-72]

Tinggi *shell*, Hs = 0,4 x D = 7,20 ft = 2,19 m [30, Fig. 20-72]

Volume silinder = $\pi/4 \times D^2 \times Hs = \pi/4 \times (18,00 \text{ ft})^2 \times (7,20 \text{ ft}) = 1.831,25 \text{ ft}^3$

Volume konis = volume *chamber* – volume silinder

$$= 3.000 \text{ ft}^3 - 1.831,25 \text{ ft}^3$$

$$= 1.168,75 \text{ ft}^3$$

M = 12 in = 1 ft [35, pg 85]

Volume konis = $1/3 \times \pi/4 \times hc \times (D^2 + DM + M^2)$

$$1.168,75 = 1/3 \times \pi/4 \times hc \times (18,00^2 + 18,00 \times 1 + 1^2)$$

hc = 13,02 ft = 3,97 m

Untuk shell, tutup bagian atas, dan bawah dipilih bahan konstruksi *stainless steel-316 L* :

- $f_{all} = \text{allowable stress} = 23.000 \text{ lb/in}^2$
- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, p.245, tabel 13.2)
- ID = diameter shell = 5,49 m = 216,00 in
- $r_i = \frac{ID}{2} = 108,00 \text{ in}$
- P = 14,7 psia
- c = Corrosion allowance = 0,125 in

Tebal *shell*

$$ts = \frac{P \times r_i}{f_{all} \times E - 0,6 \times P}$$

$$t_s = \frac{14,7 \text{ psia} \times 108,00 \text{ in}}{23000 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times 0,80 - 0,6 \times 14,7 \text{ psia}} = 0,09 \text{ in} \approx \frac{2}{16} \text{ in}$$

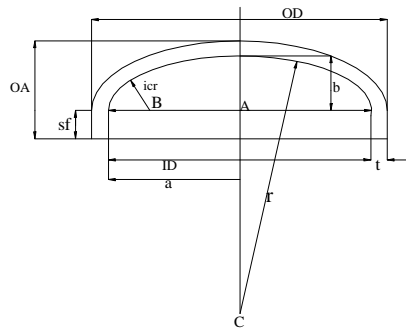
Tebal konis

Untuk $\frac{1}{2}$ sudut puncak (α) tidak lebih besar dari 30° digunakan persamaan 6.154, p.118, 28.

$$t_c = \frac{P \times ID}{2 \times \cos \alpha \times (f_{all} \times E - 0,6 \times P)} + c$$

$$t_c = \frac{14,7 \text{ psia} \times 216,00 \text{ in}}{2 \times \cos 30^\circ \times (23000 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times 0,80 - 0,6 \times 14,7 \text{ psia})} = 0,68 \text{ in} \approx \frac{11}{16} \text{ in}$$

Tebal Dished Head



$$r \text{ (crown radius / radius of dish)} = 216,00 \text{ in}$$

$$icr \text{ (inside corner radius / knuckle radius)} = 6\% \times 216,00 \text{ in} = 12,96 \text{ in}$$

$$W = \frac{1}{4} \times \left[3 + \sqrt{\frac{r}{icr}} \right] \quad [28, \text{pers 7.76}]$$

$$= \frac{1}{4} \times \left[3 + \sqrt{\frac{216,00}{12,96}} \right] = 1,77$$

$$a = \frac{ID}{2} = \frac{216,00 \text{ in}}{2} = 108,00 \text{ in}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr = \frac{216,00 \text{ in}}{2} - 12,96 \text{ in} = 95,04 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = (216,00 - 12,96) \text{ in} = 203,04 \text{ in}$$

$$b = r - \sqrt{BC^2 - AB^2} = 216,00 - \sqrt{203,04^2 - 95,04^2} = 36,58 \text{ in}$$

$$t_d = \frac{P \times r \times W}{2 \times f \times E - 0,2 \times P} + c \quad [28, \text{pers 7.77, p.138}]$$

$$t_d = \frac{14,7 \text{ psia} \times 216,00 \text{ in} \times 1,77}{2 \times 23000 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times 0,8 - 0,2 \times 14,7 \text{ psia}} + 0,125$$

$$= 0,28 \text{ in} \approx \frac{5}{16} \text{ in}$$

$$\text{Dipilih panjang straight-flange (sf)} = 3 \frac{1}{2} \text{ in} \quad [28, \text{tabel 5.8, hal.93}]$$

$$OA = t_d + b + sf$$

$$= \left(\frac{5}{16} + 36,58 + 3 \frac{1}{2} \right) \text{ in}$$

$$= 40,39 \text{ in} = 3,37 \text{ ft} = 1,03 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi total} = H_s + h_c + OA = 2,19 \text{ m} + 3,97 \text{ m} + 1,03 \text{ m} = 7,19 \text{ m} = 23,59 \text{ ft}$$

Spesifikasi :

Kapasitas : 798,11 kg/jam

Diameter : 18,00 ft

Tinggi sprat dryer total : 23,59 ft

Tebal shell : $0,09 \text{ in} \approx \frac{2}{16} \text{ in}$

Tebal tutup bawah (konis) : $0,68 \text{ in} \approx \frac{11}{16} \text{ in}$

Tebal tutup atas (dished head) : $0,28 \text{ in} \approx \frac{5}{16} \text{ in}$

Bahan konstruksi : *Stainless steel-316 L*

Jumlah spray dryer : 1 buah

Atomizer

Jenis : *Centrifugal dish*

Menentukan putaran centrifugal dish :

$$\frac{D_{vs}}{r} = 0,4 \left[\frac{\Gamma}{\rho_L \times N \times r^2} \right]^{0,6} \left[\frac{\mu}{\Gamma} \right]^{0,2} \left[\frac{\alpha \times \rho_L \times Lw}{\Gamma^2} \right]^{0,1} \quad [36, \text{pers.12-65}]$$

D_{vs} = diameter semprotan rata-rata = $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,0005 \text{ ft}$

D_i = diameter dish = $0,35 \text{ m} = 1,15 \text{ ft}$

r = jari-jari dish = $0,57 \text{ ft}$

Γ = kecepatan massa semprotan dari wetted dish peripheral, lb/min.ft

ρ_L = densitas teh pekat = $1.122,34 \text{ kg/m}^3 = 1,12 \text{ gr/cm}^3 = 70,07 \text{ lb/ft}^3$

N = putaran dish, rpm

μ = viskositas teh pekat = $0,04 \text{ lb/ft min}$

α = liquid retention, lb/min^2

Lw = wetted dish peripheral = $\pi \cdot d_i = 3,61 \text{ ft}$

Massa feed masuk = $798,11 \text{ kg/jam} = 1.759,52 \text{ lb/jam}$

$$\Gamma = \frac{\text{massa feed masuk}}{Lw} = \frac{1759,52 \text{ lb/jam}}{3,61 \text{ ft} \times 60 \text{ menit/jam}} = 8,13 \text{ lb/min.ft}$$

$$\alpha^{(1/4)} = R \times \rho_L \quad [36, \text{pers.12-66}]$$

R = komponen paarachor = $271,7$

ρ_L = densitas teh pekat, mol/cm^3

α = liquid retention, dyne

Komponen : BM

fraksi

	masssa			BM.fraksi
catechin	458.00	8.03	0.0101	4.61
Cafein	194.00	1.16	0.0015	0.28
protein	89.10	1.66	0.0021	0.19
karbohidrat	180.00	2.77	0.0035	0.63
Lemak	296.48	0.33	0.0004	0.12
trace	180.00	1.07	0.0013	0.24
abu	40.00	0.55	0.0007	0.03
air	18.00	438.96	0.5500	9.90
aren solid	342.30	237.86	0.2980	102.01
dekstrin	162.14	105.71	0.1325	21.48
Total		798.11	1.00	139.48

$$BM_{\text{campuran}} = 139,48 \text{ gr/mol}$$

$$\rho_L = \frac{1,12 \text{ gr/cm}^3}{139,48 \text{ gr/mol}} = 0,0080 \text{ mol/cm}^3$$

$$\alpha^{(1/4)} = R \times \rho_L = 271,7 \times 0,0080 = 2,19$$

$$\alpha = 2,99 \text{ dyne/cm} = 2,99 \text{ gr/s}^2 = 23,72 \text{ lb/min}^2$$

$$\frac{0,0005}{0,57} = 0,4 \left[\frac{8,13}{70,07 \times N \times 0,57^2} \right]^{0,6} \left[\frac{0,04}{8,13} \right]^{0,2} \left[\frac{181,31 \times 70,07 \times 3,61}{8,13^2} \right]^{0,1}$$

$$N = 5.203,29 \text{ rpm} \approx 5.203 \text{ rpm}$$

Menghitung power yang dibutuhkan :

$$P = 1,04.10^{-8} \times (r \times N)^2 \times W$$

Dimana,

P = netto horse power

r = jari – jari dish

N = putaran dish = 5.203 rpm

W = kecepatan feed = 29,33 lb/min

$$P = 1,04 \cdot 10^{-8} \times (0,57 \times 7.232)^2 \times 29,33$$

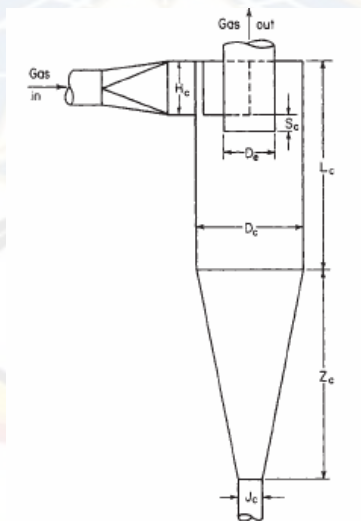
$$P = 2,72 \text{ hp} \approx 3 \text{ hp}$$

28. Cyclone (H191)

Fungsi : Untuk memisahkan teh bubuk dari aliran udara

Kapasitas : 431,45 kg padatan/jam

Gambar :



Perhitungan :

Mencari Diameter *cyclone* (D_c)

$$Dp = \left(\frac{9 \mu B_c}{\pi N_t V (\rho - \rho_g)} \right)^{0,5} \quad [36]$$

D_{partikel} untuk teh bubuk adalah $40 \mu\text{m} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0,000131 \text{ ft}$

V = kecepatan masuk cyclone, $50 \text{ ft/s} = 15,24 \text{ m/s}$ [22, pp. 617]

N_t , number of turns gas = 3

$\mu = \mu_{\text{udara pada } T=110^\circ\text{C}} = 0,0222 \text{ cp} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ lbm/ft.s} = 2,22 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m.s}$

$\rho = \rho_{\text{partikel teh}} = 432,48 \text{ kg/m}^3 = 27,00 \text{ lb/ft}^3$

$\rho_g = \rho_{\text{udara pada } T=110^\circ\text{C}} = 0,0576 \text{ lb/ft}^3 = 0,92 \text{ kg/m}^3$ [21, App.3-3 pp. 971]

$$Dp = \left(\frac{9 \mu B_c}{\pi N_t V (\rho - \rho_g)} \right)^{0,5}$$

$$0,000131 = \left(\frac{9 \times 2,2 \cdot 10^{-5} \times B_c}{\pi \times 3 \times 15,34 \times (432,48 - 0,92)} \right)^{0,5}$$

$$B_c = 0,33 \text{ m}$$

$$D_c = B_c \times 4 = 1,32 \text{ m}$$

$$H_c = 2 \times B_c = 0,66 \text{ m}$$

$$D_e = \frac{D_c}{2} = 0,66 \text{ m}$$

$$L_c = 2 \cdot D_c = 2,64 \text{ m}$$

$$S_c = \frac{D_c}{8} = 0,17 \text{ m}$$

$$Z_c = 2 \cdot D_c = 2,64 \text{ m}$$

$$J_c = \frac{D_c}{4} = 0,33 \text{ m}$$

Dimana :

D_c : Diameter cyclone, ft

D_e : Diameter lubang pengeluaran gas, ft

Hc : Diameter lubang masuk, ft

Lc : Tinggi cyclone bagian silinder, ft

Zc : Tinggi cyclone bagian kerucut, ft

Jc : Diameter lubang pengeluaran partikel, ft

Spesifikasi :

Tipe : Effluent Dust cyclone

Kapasitas : 431,45 kg padatan/hari

Ukuran Bc : 0,33 m

Dc : 1,32 m

De : 0,66 m

Hc : 0,66 m

Lc : 2,64 m

Sc : 0,17 m

Zc : 2,64 m

Jc : 0,33 m

29. Barometric condensor (G198)

Fungsi : Mengkondensasikan uap dari spray dryer teh

Tipe : counter flow Barometric Condensor

Dasar pemilihan : konstruksi lebih murah dan luas permukaan kontak lebih besar

Perhitungan :

Rate uap pada 110°C (230 °F) (v) = 427,74 kg/jam

λ uap pada 230°F (λ) = 2691,5 – 461,3 = 2230,20 kJ/kg [21, App. A.2-9]

$Q = v \cdot \lambda = 427,74 \text{ kg/jam} \times 2230,20 \text{ kJ/kg} = 953.954,90 \text{ kJ/jam}$

$$= 904.171,23 \text{ Btu/jam}$$

Kebutuhan air pendingin

$$W \text{ (gpm)} = \frac{Q}{500(T_s - t_w - t_a)} \quad [29, \text{pers 14.4, pp. 396}]$$

Dimana :

T_s = suhu uap jenuh = 230°F

t_w = suhu air pendingin = $30^\circ\text{C} = 86^\circ\text{F}$

t_a = derajat pendekatan terhadap T_s

untuk counter flow barometric condensor, $t_a = 5^\circ\text{F}$ [29, pp. 397]

$$W = \frac{904.171,23 \text{ btu/jam}}{500(230 - 86 - 5)^\circ\text{F}} = 13,01 \text{ gpm}$$

Spesifikasi :

Tipe = counter flow barometric condensor

Rate uap = $427,74 \text{ kg/jam}$

Kebutuhan air pendingin = $13,01 \text{ gpm}$

Bahan = *Stainless steel 316L*

Jumlah = 1 buah

30. Bak baromatic condenser (F199)

Fungsi : untuk menampung kondensasi uap air *barometric condenser*

Penghitungan :

Uap air yang menuju ke *barometric condenser* sebesar $427,74 \text{ kg/jam}$. Bak *barometric* dirancang untuk kapasitas 1 hari. Banyak air yang ditampung dalam 1 hari sebesar $10,31 \text{ m}^3$.

Dengan asumsi Volume air = 80% volume bak

$$\text{Volume bak} = 100/80. 10,31 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume bak} = 12,89 \text{ m}^3$$

Diinginkan ukuran bak (p:l:t) = 1,5 :1,5 :3

$$\text{Volume bak} = p \times l \times t$$

$$12,89 \text{ m}^3 = 1,5x \cdot 1,5x \cdot 3x$$

$$X = 1,24 \text{ m}$$

$$\text{Ukuran bak : } p = 1,5x = 1,5 \times 1,24 \text{ m} = 1,86 \text{ m}$$

$$l = 1,5x = 1,5 \times 1,24 \text{ m} = 1,86 \text{ m}$$

$$t = 3x = 3 \times 1,24 \text{ m} = 3,71 \text{ m}$$

31. Screening (H192)

Fungsi: untuk menyeragamkan ukuran teh bubuk

Tipe: electrical vibrating screen

Dasar pemilihan: bisa digunakan untuk padatan dengan ukuran ≤ 400 mesh

Kondisi operasi: 30°C, P= 1 atm

Kapasitas: 389,86 kg/jam = 0,3897 ton/jam

Perancangan:

Menghitung luas ayakan

$$A = \frac{0,4xC_t}{C_u \times F_{OA} \times F_s} \quad [36, \text{pers 19-7}]$$

Dengan:

A = luas ayakan (ft²)

Ct = kapasitas (ton/jam) = 0,3897 ton/jam

Cu = kapasitas unit (ton/jam.ft²) = 0,15 ton/jam.ft² [36, fig.19-21]

Fs = factor slot area = 1 [36, table 19-7]

$$F_{OA} = \text{faktor bukaan area} = 100 \times \left[\frac{a}{a+d} \right]^2$$

Dimana: a = bukaan bersih = 0,3 in; d = diameter kawat = 0,25 in

Sehingga:

$$F_{OA} = 100 \times \left[\frac{0,3}{0,3+0,25} \right]^2 = 29,75$$

$$\text{Luas ayakan (A)} = \frac{0,4 \times C_t}{C_u \times F_{OA} \times F_s} = \frac{0,4 \times 0,3897}{0,15 \times 29,75 \times 1} = 0,0349 \text{ ft}^2$$

Menurut Peter & Timmerhaus ed 3 [30], dari grafik 13-89 dipilih ayakan dengan ukuran 1 x 3 ft

Spesifikasi:

Tipe: electrical vibrating screen

Kapasitas: 389,86 kg/jam

Ukuran ayakan: 1 x 3 ft

32. Apron Conveyor (J-195)

Fungsi : mengangkut teh bubuk dari proses screen ke tangki penampung (F195)

Tipe : apron conveyor dilengkapi dengan penutup berbentuk setengah lingkaran.

Dasar pemilihan : untuk transport material berbentuk bubuk

Perhitungan :

Kapasitas = 370,37 kg/jam

Dari [27] :

Panjang apron : 2 meter

Lebar apron : 0,3 meter

Sudut kemiringan : 45°

Tinggi penutup : 0,3 meter
Power : 0,5 hp
Material : stainless steel
Jumlah : 1 buah

33. Hammer mill (C193)

Fungsi: menghancurkan teh bubuk yang keluar dari spray dryer dan cyclone yang ukurannya belum sesuai dengan yang diinginkan.

Tipe: Hammer mill

Dasar pemilihan: untuk menghancurkan material dalam industri makanan dan menghasilkan butiran sampai dengan ukuran 0,00039 in.

Kapasitas: 19,49 kg/jam = 0,01949 ton/jam

Dari 36, table 20-14 mendapatkan:

Dimensi rotor = 30x30 in

Ukuran maximum feed = 2 ½ in

Kecepatan maximum = 1200 rpm

Power = 100 hp

Jumlah = 1

34. Apron Conveyor (J-196)

Fungsi : mengangkut teh bubuk dari hammermill ke screening

Tipe : apron conveyor dilengkapi dengan penutup berbentuk setengah lingkaran.

Dasar pemilihan : untuk transport material berbentuk bubuk

Perhitungan :

Kapasitas = 19,49 kg/jam

Dari [27] :

Panjang apron : 2 meter

Lebar apron : 0,3 meter

Sudut kemiringan : 45°

Tinggi penutup : 0,3 meter

Power : 0,5 hp

Material : stainless steel

Jumlah : 1 buah

35. Tangki Penampung Teh Bubuk (F194)

Fungsi : untuk menampung teh bubuk

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis

Dasar pemilihan : cocok untuk menampung padatan, tutup bawah konis untuk mempermudah pengeluaran teh bubuk

Kondisi operasi : $T = 30^{\circ}\text{C}$

$$\rho \text{ teh bubuk} = 432,48 \text{ kg/m}^3 = 27 \text{ lbm/ft}^3$$

Perhitungan :

Massa teh bubuk = 370,37 kg

$$\text{Volume teh bubuk total} = \frac{370,37 \text{ kg}}{432,48 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,43 \text{ m}^3 = 15,12 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume teh bubuk total, sehingga:

Volume tangki penampung = 1,3 volume teh bubuk total

$$= 1,3 \times 15,12 \text{ ft}^3 = 19,66 \text{ ft}^3$$

Ditetapkan : tinggi shell (H_t) = 1,5 diameter shell (D_t) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^\circ \text{ [28]}$$

Diameter nozzle (D_n) yang digunakan 4 inchi = 0,33 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times D_t^2 \times H_t = (\pi/4) \times 1,5 \times D_t^3$$

H_n = tinggi nozzle; H_k = tinggi konis

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } \alpha} \text{ dan } H_k = \frac{D_t}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - H_n = \frac{D_t}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{D_t - D_n}{2 \cdot \text{tg } \alpha}$$

$$\text{Volume konis} = \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_t^2 \times (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times H_n$$

$$= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_t^2 \times \left(\frac{D_t - D_n}{2 \cdot \text{tg } 30} + \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } 30} \right) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } 30}$$

$$= \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg } 30} (D_t^3 - D_n^3)$$

Volume tangki = volume *shell* + volume konis

$$19,66 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times D_t^3 + \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg } 30} (D_t^3 - D_n^3)$$

$$19,66 \text{ ft}^3 = 1,1775 D_t^3 + 0,23 D_t^3 - 0,0081$$

$$D_t = 2,41 \text{ ft}$$

$$H_t = 1,5 D_t = 1,5 \times 2,41 \text{ ft} = 3,62 \text{ ft}$$

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{0,33}{2 \cdot \text{tg } 30} = 0,29 \text{ ft}$$

$$H_k = \frac{D_t}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - H_n = \frac{2,41}{2 \cdot \text{tg } 30} - 0,29 = 1,80 \text{ ft}$$

$$H \text{ total} = H_t + H_k = (3,62 + 1,80) \text{ ft} = 5,41 \text{ ft}$$

$$\text{Volume padatan dalam konis} = \frac{\pi}{24 \tan 30} (Dt^3 - Dn^3)$$

$$= \frac{\pi}{24 \tan 30} (2,41^3 - 0,33^3) = 3,17 \text{ ft}^3$$

Volume padatan dalam tangki = volume padatan dalam *shell* + volume padatan dalam konis

$$15,12 \text{ ft}^3 = \text{volume padatan dalam } shell + 3,17 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume padatan dalam } shell = 11,96 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume padatan dalam shell} = (\pi/4) \times H_L \times Dt^2$$

$$11,96 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (2,41 \text{ ft})^2$$

$$\text{Tinggi padatan dalam shell } (H_L) = 2,62 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi padatan dalam tangki } (Z_t) = H_L + H_k = (2,62 + 1,80) \text{ ft} = 4,42 \text{ ft}$$

Tekanan operasi tangki

$$\text{Tekanan udara} = 1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psia}$$

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{27,00 \times 4,42}{144} = 0,83 \text{ psia} [28, \text{Eq. 3.17}]$$

$$\text{Tekanan operasi alat} = \text{tekanan udara} + \text{tekanan hidrostatik}$$

$$= (14,70 + 0,83) \text{ psia} = 15,52 \text{ psia}$$

$$P_{\text{desain}} = 1,5 \times P_{\text{operasi}} = 1,5 \times 15,52 \text{ psia} = 23,29 \text{ psia} = 1,58 \text{ atm}$$

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah *stainless steel-316L*

- f_{all} = allowable stress = 23.000 lb/in²
- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, p.254, tabel 13.2)
- c = corrosion allowance = (1/8) = 0,125 in

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : t_s = thickness of shell (in)

P = internal design pressure (psi) = 23,29 psia

D = inside diameter (in) = 2,41 ft = 28,92 in

f = allowable working stress (psi) = 23000 psia

E = joint efficiency = 0,8

c = corrosion allowance = 0,125

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{23,29 \text{ psia} \times 28,92 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,14 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup konis

$$\begin{aligned} \text{Tebal konis} &= \frac{P.D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c \\ &= \frac{23,29 \text{ psia} \times 28,92 \text{ in}}{2 \cos 30 (23000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 23,29 \text{ psia})} + 0,125 \\ &= 0,15 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama : tangki penampung

Fungsi : untuk menampung teh bubuk

Bahan konstruksi : stainless steel-316L

Kapasitas : 19,66 ft³

Diameter tangki : 2,41 ft

Tinggi shell : 3,62 ft

Tinggi konis : 1,80 ft

Tinggi tangki total : 5,41 ft

Tebal shell : 3/16 in

Tebal head : 3/16 in

Tebal konis : 3/16 in

Jumlah : 1 buah

36. Apron Conveyor (J-197)

Fungsi : mengangkut teh bubuk dari tangki penampung (F195) ke mixer (M250)

Tipe : apron conveyor dilengkapi dengan penutup berbentuk setengah lingkaran.

Dasar pemilihan : untuk transport material berbentuk bubuk

Perhitungan :

Kapasitas = 370,37 kg/jam

Dari [27] :

Panjang apron : 2 meter

Lebar apron : 0,3 meter

Sudut kemiringan : 45°

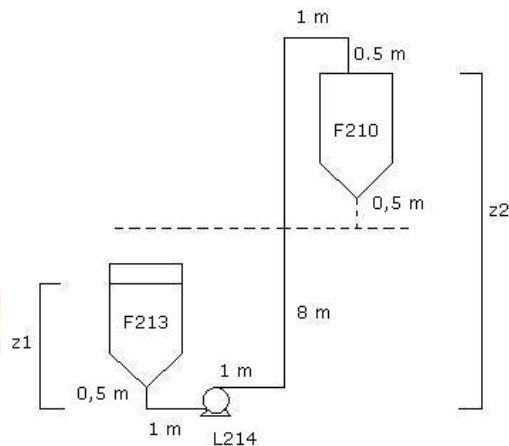
Tinggi penutup : 0,3 meter

Power : 0,5 hp

Material : stainless steel

Jumlah : 1 buah

36. Pompa L214



Fungsi: mengalirkan air dari tangki penampung susu sapi di ruang pendingin F213 ke tangki penampung susu sapi F210

Perhitungan:

Pompa bekerja 15 menit/batch

$$\text{Rate volumetrik} = 6,788 \frac{m^3}{\text{batch}} \approx 0,0075 \frac{m^3}{s} \approx 119,56 \text{ gal/min}$$

$$\rho_{\text{susu}} = 1.032,7 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu_{\text{susu}} = 0,0021 \frac{kg}{m.s}$$

Trial : aliran turbulen, sehingga :

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad [30]$$

dimana, Q = debit ($\frac{m^3}{s}$)

$$\rho = \text{densitas} (\frac{kg}{m^3})$$

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times 0,0075^{0,45} \times 1.032,7^{0,13} = 0,0992 \text{ m} \approx 3,9065 \text{ in}$$

Dipilih *steel pipe* (IPS) untuk *comercial steel* berukuran 4 in sch 40 :

$$ID = 102,3 \text{ mm} \approx 0,1023 \text{ m}$$

$$OD = 114,3 \text{ mm} \approx 0,1143 \text{ m}$$

$$A = 0,0082 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} \approx \frac{0,0075 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0082 \text{ m}^2} = 0,9178 \text{ m/s}$$

Cek Trial :

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{1.032,7 \text{ kg/m}^3 \times 0,1023 \text{ m} \times 0,9178 \text{ m/s}}{0,0021 \text{ kg/m.s}} = 46.169,9119 \text{ (turbulen)}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad [21]$$

Perhitungan Friksi :

a. Pipa lurus

$$F_f = \frac{4 \times f \times \Delta L \times v^2}{2 \times ID} \quad [21]$$

Pipa *commercial steel*, $\epsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$

$$\epsilon/ID = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,1023} = 0,0004$$

$$N_{re} = 46.169,9119$$

Dari Geankoplis (ϵ/ID vs N_{re}), diperoleh $f = 0,0049$

$$\Delta L = 28,43 \text{ m}$$

$$F_f = \frac{4 \times 0,0049 \times 28,43 \text{ m} \times (0,9178 \text{ m/s})^2}{2 \times 0,1023 \text{ m}} = 2,2939 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

b. *Sudden contraction*

$$h_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

$$\begin{aligned} h_c &= 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} = 0,55 \times \left(1 - \frac{0,0082}{0,0324}\right) \times \frac{\left(0,9178 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 1} \\ &= 0,1729 \frac{m^2}{s^2} \end{aligned}$$

c. *Sudden enlargement*

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

$$h_{ex} = \frac{v^2}{2\alpha} = \frac{\left(0,9178 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 1} = 0,4211 \frac{m^2}{s^2}$$

d. Friksi untuk elbow 90°

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$K_f = 0,75 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} = 0,75 \times \frac{(0,9178 \text{ m/s})^2}{2} = 0,3159 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Digunakan 5 elbow 90°

$$h_f = 5 \times 0,3159 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 1,5793 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

e. Friksi untuk elbow tee

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$K_f = 1 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} = 1 \times \frac{(0,9178 \text{ m/s})^2}{2} = 0,4211 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

f. Friksi untuk *Gate valve*

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$K_f = 0,17 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{(0,9178 \text{ m/s})^2}{2} = 0,4037 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\text{Friksi Total } (\Sigma F) = 5,2920 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{1}{2 \times 1} \left(\left(0,9178 \frac{m}{s} \right)^2 - \left(0 \frac{m}{s} \right)^2 \right) + 9,8 \frac{m}{s^2} (12,7m - 7,8226m) +$$

$$5,2920 \frac{m^2}{s^2} + W_s = 0$$

$$-W_s = 52,58 \frac{m^2}{s^2} = 52,58 \frac{j}{kg}$$

Untuk laju volumetrik susu = 119,56 gal/min didapatkan harga efisiensi

pompa (η) = 20 % [21]

$$\text{brake kW} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 1000} \approx \frac{-w_s \times Q \times \rho}{\eta \times 1000}$$

[21]

$$= \frac{52,58 \frac{j}{kg} \times 0,0075 \frac{m^3}{s} \times 1.032,7 \frac{kg}{m^3}}{0,2 \times 1000}$$

$$= 2,05 \text{ kW} \approx 2,75 \text{ Hp}$$

Untuk power pompa 3,53 kW didapat harga efisiensi motor = 87% [30]

$$\text{Sehingga dipakai pompa dengan motor} = \frac{100}{87} \times 2,75 \text{ Hp} = 3,16 \text{ Hp}$$

37. Tangki Penampung Susu Cair (F210)

Fungsi : untuk menampung susu cair

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis

Dasar pemilihan : cocok untuk menampung bahan yang berbentuk cair

Kondisi operasi : T = 30°C

$$\rho \text{ susu cair} = 1.032 \text{ kg/m}^3 = 64,43 \text{ lbm/ft}^3$$

Perhitungan :

Massa susu cair = 7.010,75 kg

$$\text{Volume susu cair total} = \frac{7.010,75 \text{ kg}}{1.032 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 6,79 \text{ m}^3 = 239,90 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume susu cair total, sehingga:

$$\begin{aligned}\text{Volume tangki penampung} &= 1,3 \text{ volume susu cair total} \\ &= 1,3 \times 239,90 \text{ ft}^3 = 311,87 \text{ ft}^3\end{aligned}$$

Ditetapkan : tinggi shell (Ht) = 1,5 diameter shell (Dt) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha (\text{sudut konis}) = 30^\circ [28]$$

Diameter nozzle (Dn) yang digunakan 8 inchi = 0,67 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times Dt^2 \times Ht = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3$$

Hn = tinggi nozzle; Hk = tinggi konis

$$Hn = \frac{Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha} \text{ dan } Hk = \frac{Dt}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - Hn = \frac{Dt}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - \frac{Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{Dt - Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha}$$

$$\text{Volume konis} = \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dt^2 \times (Hk + Hn) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dn^2 \times Hn$$

$$= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dt^2 \times \left(\frac{Dt - Dn}{2 \text{tg } 30} + \frac{Dn}{2 \text{tg } 30} \right) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dn^2 \times \frac{Dn}{2 \text{tg } 30}$$

$$= \frac{\pi}{24 \text{tg } 30} (Dt^3 - Dn^3)$$

Volume tangki = volume shell + volume konis

$$311,87 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3 + \frac{\pi}{24 \text{tg } 30} (Dt^3 - Dn^3)$$

$$311,87 \text{ ft}^3 = 1,1775 Dt^3 + 0,23 Dt^3 - 0,0671$$

$$D_t = 6,06 \text{ ft}$$

$$H_t = 1,5 D_t = 1,5 \times 6,06 \text{ ft} = 9,08 \text{ ft}$$

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{0,67}{2 \tan 30} = 0,58 \text{ ft}$$

$$H_k = \frac{D_t}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{6,06}{2 \tan 30} - 0,58 = 4,67 \text{ ft}$$

$$H_{\text{total}} = H_t + H_k = (9,08 + 4,67) \text{ ft} = 13,75 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume larutan dalam konis} &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (D_t^3 - D_n^3) \\ &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (6,06^3 - 0,67^3) = 50,28 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volume larutan dalam tangki} = \text{volume larutan dalam shell} + \text{volume larutan dalam konis}$$

$$239,90 \text{ ft}^3 = \text{volume larutan dalam shell} + 50,28 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = 189,62 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = (\pi/4) \times H_L \times D_t^2$$

$$189,62 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (6,06 \text{ ft})^2$$

$$\text{Tinggi larutan dalam shell } (H_L) = 6,58 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi larutan dalam tangki } (Z_t) = H_L + H_k = (6,58 + 4,67) \text{ ft} = 11,25 \text{ ft}$$

Tekanan operasi tangki

$$\text{Tekanan udara} = 1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psia}$$

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{64,43 \times 11,25}{144} = 5,03 \text{ psia} \text{ [28, Eq. 3.17]}$$

$$\text{Tekanan operasi alat} = \text{tekanan udara} + \text{tekanan hidrostatik}$$

$$= (14,70 + 5,03) \text{ psia} = 19,73 \text{ psia}$$

$$P_{\text{desain}} = 1,5 \times P_{\text{operasi}} = 1,5 \times 19,73 \text{ psia} = 29,59 \text{ psia} = 2,01 \text{ atm}$$

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah *stainless steel-316L*

- f_{all} = allowable stress = 23.000 lb/in²
- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, p.254, tabel 13.2)
- c = corrosion allowance = (1/8) = 0,125 in

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : t_s = thickness of shell (in)

P = internal design pressure (psi) = 29,79 psia

D = inside diameter (in) = 6,06 ft = 72,67 in

f = allowable working stress (psi) = 23000 psia

E = joint efficiency = 0,8

c = corrosion allowance = 0,125

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{29,79 \text{ psia} \times 72,67 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,18 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup konis

$$\begin{aligned} \text{Tebal konis} &= \frac{P.D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c \\ &= \frac{29,79 \text{ psia} \times 72,67 \text{ in}}{2 \cos 30 (23000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 29,79 \text{ psia})} + 0,125 \\ &= 0,19 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

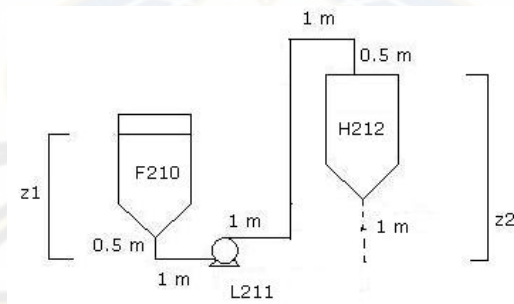
Nama : tangki penampung

Fungsi : untuk menampung susu cair

Bahan konstruksi : *stainless steel-316L*

Kapasitas : 311,87 ft³
 Diameter tangki : 6,06 ft
 Tinggi shell : 9,08 ft
 Tinggi konis : 4,67 ft
 Tinggi tangki total : 13,75 ft
 Tebal shell : 3/16 in
 Tebal head : 3/16 in
 Tebal konis : 3/16 in
 Jumlah : 1 buah

38. Pompa L211



Fungsi: mengalirkan susu dari tangki penampung F210 ke clarifier H212

Perhitungan:

Pompa bekerja 15 menit/batch

Rate volumetrik = $6,8427 \frac{m^3}{batch} \approx 0,0076 \frac{m^3}{s} \approx 120,51 \text{ gal/min}$

$\rho \text{ susu} = 1.024,56 \frac{kg}{m^3}$

$\mu \text{ susu} = 0,0021 \frac{kg}{m.s}$

Trial : aliran turbulen, sehingga :

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad [30]$$

dimana, $Q = \text{debit } (m^3/s)$

$\rho = \text{densitas } (kg/m^3)$

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times 0,0076^{0,45} \times 1.024,56^{0,13} = 0,0995 \text{ m} \approx 3,9164 \text{ in}$$

Dipilih *steel pipe* (IPS) untuk *comercial steel* berukuran 4 in sch 40 :

$$ID = 102,3 \text{ mm} \approx 0,1023 \text{ m}$$

$$OD = 114,3 \text{ mm} \approx 0,1143 \text{ m}$$

$$A = 0,0082 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} \approx \frac{0,0076 m^3/s}{0,0082 m^2} = 0,9251 \text{ m/s}$$

Cek Trial :

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{1.024,56 \text{ kg/m}^3 \times 0,1023 \text{ m} \times 0,9251 \text{ m/s}}{0,0021 \text{ kg/m.s}} = 46.169,9119 \text{ (turbulen)}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad [21]$$

Perhitungan Friksi :

a. Pipa lurus

$$F_f = \frac{4 \times f \times \Delta L \times v^2}{2 \times ID} \quad [21]$$

Pipa *comercial steel*, $\epsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$

$$\epsilon/ID = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,1023} = 0,0004$$

$$Nre = 46.169,9119$$

Dari Geankoplis (ϵ/ID vs Nre), diperoleh $f = 0,0049$

$$\Delta L = 9,78 \text{ m}$$

$$Ff = \frac{4 \times 0,0049 \times 9,78 \text{ m} \times (0,9251 \text{ m/s})^2}{2 \times 0,1023 \text{ m}} = 0,8017 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

b. *Sudden contraction*

$$hc = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = 1/2)

$$\begin{aligned} hc &= 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} = 0,55 \times \left(1 - \frac{0,0082}{0,324}\right) \times \frac{(0,9251 \text{ m/s})^2}{2 \times 1} \\ &= 0,1756 \text{ m}^2/\text{s}^2 \end{aligned}$$

c. *Sudden enlargement*

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = 1/2)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

$$h_{ex} = \frac{v^2}{2\alpha} = \frac{\left(0,9251 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 1} = 0,4279 \frac{m^2}{s^2}$$

d. Friksi untuk elbow 90°

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 0,75 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,75 \times \frac{\left(0,9251 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 0,3209 \frac{m^2}{s^2}$$

Digunakan 4 elbow 90°

$$hf = 4 \times 0,3209 \frac{m^2}{s^2} = 1,2836 \frac{m^2}{s^2}$$

e. Friksi untuk *Gate valve*

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 0,17 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{\left(0,9251 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 0,3973 \frac{m^2}{s^2}$$

$$\text{Friksi Total } (\Sigma F) = 2,1234 \frac{m^2}{s^2}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{1}{2 \times 1} \left((0,9251 \text{ m/s})^2 - (0 \text{ m/s})^2 \right) + 9,8 \text{ m/s}^2 (5,28 \text{ m} - 3,9293 \text{ m}) +$$

$$2,1234 \text{ m}^2/\text{s}^2 + W_s = 0$$

$$-W_s = 14,93 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 14,93 \text{ J/kg}$$

Untuk laju volumetrik air = 120,51 gal/min didapatkan harga efisiensi pompa

$$(\eta) = 45 \% \quad [21]$$

$$\text{brake kW} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 1000} \approx \frac{-w_s \times Q \times \rho}{\eta \times 1000}$$

[21]

$$= \frac{14,93 \text{ J/kg} \times 0,0076 \text{ m}^3/\text{s} \times 1.024,56 \text{ kg/m}^3}{0,45 \times 1000} = 0,26 \text{ kW} \approx 0,35 \text{ Hp}$$

Untuk power pompa 0,26 kW didapat harga efisiensi motor = 77% [30]

$$\text{Sehingga dipakai pompa dengan motor} = \frac{100}{77} \times 0,35 \text{ Hp} = 0,45 \text{ Hp}$$

39. Clarifier (H212)

Fungsi: memisahkan susu segar dari kotoran

Tipe: helical conveyor

Dasar pemilihan: dapat digunakan untuk memisahkan kotoran dengan konsentrasi yang rendah

Kondisi operasi: 30°C

Sistem operasi: batch

Jumlah: 1 buah

Perhitungan:

Rate susu masuk = 7.010,75 kg/batch = 2.804,30 kg/jam

ρ susu = 1.032 kg/m³

$$\text{Kapasitas} = \frac{2.804,30 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}}{1.032 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 2,72 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} = 11,98 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

Dari [36], dipilih conveyor dengan spesifikasi berikut:

Tipe = helical conveyor

Bowl diameter = 6 in

Kecepatan = 8.000 rpm

Kapasitas = liquid $\leq 20 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$; solid = 0,03 – 0,25 $\frac{\text{tons}}{\text{jam}}$

Power = 5 hp

40. Tangki Pasteurisasi (M220)

Fungsi : untuk memanaskan susu cair

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis dilengkapi dengan jaket pemanas

Dasar pemilihan : cocok untuk menampung bahan yang berbentuk cair

Kondisi operasi : T = 65°C

$$\rho \text{ susu cair} = 1.008,3 \text{ kg/m}^3 = 62,95 \text{ lbm/ft}^3$$

Perhitungan :

Massa susu cair = 7.003,73 kg

$$\text{Volume susu cair total} = \frac{7.003,73 \text{ kg}}{1.008,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 6,95 \text{ m}^3 = 245,29 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume susu cair total, sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki penampung} &= 1,3 \text{ volume susu cair total} \\ &= 1,3 \times 245,29 \text{ ft}^3 = 318,88 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Ditetapkan : tinggi shell (Ht) = 1,5 diameter shell (Dt) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^\circ \text{ [28]}$$

Diameter nozzle (Dn) yang digunakan 8 inchi = 0,67 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times Dt^2 \times Ht = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3$$

Hn = tinggi nozzle; Hk = tinggi konis

$$Hn = \frac{Dn}{2 \cdot \tan \alpha} \text{ dan } Hk = \frac{Dt}{2 \cdot \tan \alpha} - Hn = \frac{Dt}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{Dn}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{Dt - Dn}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dt^2 \times (Hk + Hn) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dn^2 \times Hn \\ &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dt^2 \times \left(\frac{Dt - Dn}{2 \tan 30} + \frac{Dn}{2 \tan 30} \right) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dn^2 \times \frac{Dn}{2 \tan 30} \\ &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (Dt^3 - Dn^3) \end{aligned}$$

Volume tangki = volume shell + volume konis

$$311,55 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3 + \frac{\pi}{24 \tan 30} (Dt^3 - Dn^3)$$

$$311,55 \text{ ft}^3 = 1,1775 Dt^3 + 0,23 Dt^3 - 0,0671$$

$$Dt = 6,05 \text{ ft}$$

$$Ht = 1,5 Dt = 1,5 \times 6,05 \text{ ft} = 9,08 \text{ ft}$$

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{0,67}{2 \tan 30} = 0,58 \text{ ft}$$

$$H_k = \frac{D_t}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{6,05}{2 \tan 30} - 0,58 = 4,67 \text{ ft}$$

$$H_{\text{total}} = H_t + H_k = (9,08 + 4,67) \text{ ft} = 13,75 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume larutan dalam konis} &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (D_t^3 - D_n^3) \\ &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (6,05^3 - 0,67^3) = 50,22 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Volume larutan dalam tangki = volume larutan dalam *shell* + volume larutan dalam konis

$$239,66 \text{ ft}^3 = \text{volume larutan dalam shell} + 50,22 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = 189,43 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = (\pi/4) \times H_L \times D_t^2$$

$$189,43 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (6,05 \text{ ft})^2$$

$$\text{Tinggi larutan dalam shell (H}_L\text{)} = 6,58 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi larutan dalam tangki (Z}_t\text{)} = H_L + H_k = (6,58 + 4,67) \text{ ft} = 11,25 \text{ ft}$$

Tekanan operasi tangki

$$\text{Tekanan udara} = 1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psia}$$

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{64,43 \times 11,25}{144} = 5,03 \text{ psia [28, Eq. 3.17]}$$

$$\text{Tekanan operasi alat} = \text{tekanan udara} + \text{tekanan hidrostatik}$$

$$= (14,70 + 5,03) \text{ psia} = 19,73 \text{ psia}$$

$$P_{\text{desain}} = 1,5 \times P_{\text{operasi}} = 1,5 \times 19,73 \text{ psia} = 29,59 \text{ psia} = 2,01 \text{ atm}$$

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah *stainless steel-316L*

$$- f_{\text{all}} = \text{allowable stress} = 23.000 \text{ lb/in}^2$$

- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, pp.254, tabel 13.2)
- c = corrosion allowance = (1/8) = 0,125 in

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi) = 29,59 psia

D = *inside diameter* (in) = 6,05 ft = 72,64 in

f = *allowable working stress* (psi) = 23000 psia

E = *joint efficiency* = 0,8

c = *corrosion allowance* = 0,125

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{29,59 \text{ psia} \times 72,64 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,18 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup konis

$$\begin{aligned} \text{Tebal konis} &= \frac{P.D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c \\ &= \frac{29,59 \text{ psia} \times 72,64 \text{ in}}{2 \cos 30 (23000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 29,59 \text{ psia})} + 0,125 \\ &= 0,19 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama : tangki pasteurisasi

Fungsi : untuk memanaskan susu cair

Bahan konstruksi : *stainless steel-316L*

Kapasitas : 311,55 ft³

Diameter tangki : 6,05 ft

Tinggi shell : 9,08 ft

Tinggi konis : 4,67 ft
Tinggi tangki total : 13,75 ft
Tebal shell : 3/16 in
Tebal head : 3/16 in
Tebal konis : 3/16 in
Jumlah : 1 buah

Agitator M220

Ditetapkan:

1. Jenis agitator yang digunakan adalah *four blade paddle agitator*.

μ campuran = 0,0021 kg/m.s atau Pa.s

2. Bahan konstruksi *Stainless steel – 316L*

Dari Tabel 3.4-1 [21, pp.158] diperoleh :

$$\frac{D_a}{D_t} = 0,6-0,8 \quad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \quad \frac{H}{D_t} = 1$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \quad \frac{C}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$$

Dimana: D_a = diameter pengaduk

D_t = diameter tangki

W = lebar *blade*

H = tinggi cairan dalam tangki

L = panjang *blade*

C = jarak pengaduk dari dasar tangki

J = lebar *baffle*

Sehingga didapatkan :

1. Diameter pengaduk (D_a)

$$\frac{D_a}{D_t} = 0,7 \rightarrow D_a = 0,7 D_t = 0,7 \cdot 1,86 \text{ m} = 1,30 \text{ m}$$

2. Lebar *blade* (W)

$$\frac{W}{D_a} = 0,2 \rightarrow W = 0,2 D_a = 0,2 \cdot 1,30 \text{ m} = 0,26 \text{ m}$$

3. Panjang *blade* (L)

$$\frac{L}{D_a} = 0,25 \rightarrow L = 0,25 D_a = 0,25 \cdot 1,30 \text{ m} = 0,33 \text{ m}$$

4. Jarak pengaduk dari dasar tangki (C)

$$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3} \rightarrow C = \frac{1}{3} D_t = \frac{1}{3} \cdot 1,86 \text{ m} = 0,62 \text{ m}$$

5. Lebar *buffle* (J)

$$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \rightarrow J = \frac{1}{12} \cdot D_t = \frac{1}{12} \cdot 1,86 \text{ m} = 0,15 \text{ m}$$

Perhitungan kecepatan pengadukan :

Syarat :

- Kecepatan agitator (N) antara 20 – 150 rpm [31, pp.238]

$$N = 125 \text{ rpm} = 2,08 \text{ rps}$$

Power yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan [21, pp.158]:

$$N_{Re} = \frac{\rho \times N \times D_a^2}{\mu}$$

Dimana: D_a = diameter pengaduk (m)

N = kecepatan putaran pengaduk (rps)

ρ = densitas (kg/m^3)

μ = viskositas (kg/m.s)

$$N_{Re} = \frac{1.008,30 \text{ kg/m}^3 \times 2,08 \text{ rps} \times (1,30 \text{ m})^2}{0,0021 \text{ kg/m.s}} = 1.694.715,80 \rightarrow \text{Turbulen}$$

Nilai N_p dapat dicari dari literatur [21, Fig. 3.4-5]

untuk nilai $N_{Re} = 1.694.715,80$ dan untuk jenis *four blade paddle agitator* maka:

$$\begin{aligned} N_p &= 215 \times (N_{Re})^{-0,955} \\ &= 215 \times (1.694.715,80)^{-0,955} \\ &= 0,00024 \end{aligned}$$

$$P = N_p \times \rho \times N^3 \times Da^5 \quad [21, \text{pp.159}]$$

$$P = 0,00024 \times 1.008,30 \text{ kg/m}^3 \times (2,08)^3 \times (1,30 \text{ m})^5$$

$$P = 8,24 \text{ W} = 0,01 \text{ Hp}$$

Effisiensi motor = 80%

$$P = \frac{0,01 \text{ hp}}{0,8} \times 2 = 0,03 \text{ Hp} = 0,5 \text{ Hp}$$

Jaket Pemanas

Ditetapkan :

Steam yang digunakan adalah *saturated steam* 198,53 kPa dengan suhu 120°C.

Spesifik volume = 0,8908 m³/kg (21, A.2-9)

$$\rho = (\text{spesifik volume})^{-1} = (0,8908 \text{ m}^3/\text{kg})^{-1} = 1,12 \text{ kg/m}^3$$

Entalpi: *saturated vapor* (h_g) = 2.706,30 kJ/kg

$$\text{Saturated liquid } (h_l) = 503,71 \text{ kJ/kg}$$

$$\lambda = h_g - h_f = 2.706,30 - 503,71 = 2.202,59 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{gw} = h_f + \lambda \cdot x \quad , \text{dimana } x = \text{kualitas steam (90\%)}$$

$$= 503,71 + 2.202,59 \cdot 0,9$$

$$= 2.486,04 \text{ kJ/kg}$$

$$\lambda_w = h_{gw} - h_f = 2.486,04 - 503,71 = 1.982,33 \text{ kJ/kg}$$

Asumsi :

$$H_{\text{jaket}} = H_{\text{shell}} = 2,79 \text{ m}$$

Perhitungan:

$$D_v \text{ (diameter shell)} = 1,86 \text{ m}$$

$$Q \text{ steam (dari neraca panas)} = 1.050.920,75 \text{ kJ/batch}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa steam} &= \frac{Q_{\text{steam}}}{\lambda_{\text{wet_steam}}} \\ &= \frac{1.050.920,75}{1.982,33} = 530,14 \text{ kg/batch} \end{aligned}$$

$$\text{volume steam} = \frac{\text{massa}}{\rho} = \frac{530,14}{1,12} = 472,27 \text{ m}^3/\text{batch}$$

$$\text{Waktu tinggal steam} = 3 \text{ detik}$$

$$\text{Volume steam / 3 detik (Vs)} = 472,27 \times \frac{1}{1 \times 30} \times \frac{1}{60} \times 3 = 0,79 \text{ m}^3$$

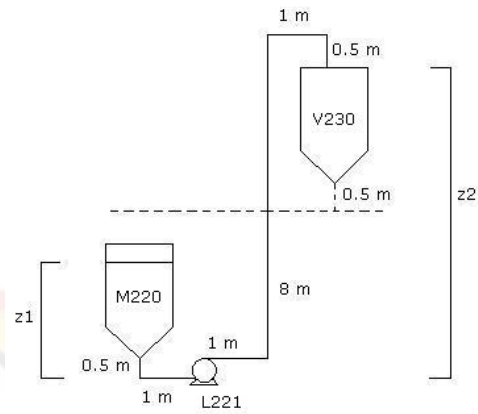
$$t = \text{tebal jaket}$$

$$V_s = t \times H_{\text{jaket}} \times (D_v + 2t)$$

$$0,79 = t \times 2,79 \times (1,86 + 2t)$$

$$t = 0,13 \text{ m}$$

41. Pompa L221



Fungsi: mengalirkan susu dari tangki pasteurisasi M220 ke tangki evaporator F230

Perhitungan:

Pompa bekerja 15 menit/batch

$$\text{Rate volumetrik} = 6,9530 \frac{m^3}{\text{batch}} \approx 0,0077 \frac{m^3}{s} \approx 122,45 \text{ gal/min}$$

$$\rho_{\text{susu}} = 1.008,3045 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu_{\text{susu}} = 0,0021 \frac{kg}{m.s}$$

Trial : aliran turbulen, sehingga :

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad [30]$$

dimana, Q = debit ($\frac{m^3}{s}$)

$$\rho = \text{densitas} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times 0,0077^{0,45} \times 1.008,3045^{0,13} = 0,1 \text{ m} \approx 3,9365 \text{ in}$$

Dipilih *steel pipe* (IPS) untuk *comercial steel* berukuran 4 in sch 40 :

$$ID = 102,3 \text{ mm} \approx 0,1023 \text{ m}$$

$$OD = 114,3 \text{ mm} \approx 0,1143 \text{ m}$$

$$A = 0,0082 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} \approx \frac{0,0077 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0082 \text{ m}^2} = 0,94 \text{ m/s}$$

Cek Trial :

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{1.008,3045 \text{ kg/m}^3 \times 0,1023 \text{ m} \times 0,94 \text{ m/s}}{0,0021 \text{ kg/m.s}} = 46.169,9119 \text{ (turbulen)}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad [21]$$

Perhitungan Friksi :

a. Pipa lurus

$$F_f = \frac{4 \times f \times \Delta L \times v^2}{2 \times ID} \quad [21]$$

Pipa *commercial steel*, $\epsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$

$$\epsilon/ID = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,1023} = 0,00045$$

$$N_{re} = 46.169,9119$$

Dari Geankoplis (ϵ/ID vs N_{re}), diperoleh $f = 0,0045$

$$\Delta L = 17,23 \text{ m}$$

$$F_f = \frac{4 \times 0,0045 \times 17,23 \text{ m} \times (0,94 \text{ m/s})^2}{2 \times 0,1023 \text{ m}} = 1,3396 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

b. *Sudden contraction*

$$h_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

$$\begin{aligned} h_c &= 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} = 0,55 \times \left(1 - \frac{0,0082}{0,0324}\right) \times \frac{\left(0,94 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 1} \\ &= 0,1813 \frac{m^2}{s^2} \end{aligned}$$

c. *Sudden enlargement*

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

$$h_{ex} = \frac{v^2}{2\alpha} = \frac{\left(0,94 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 1} = 0,4418 \frac{m^2}{s^2}$$

d. Friksi untuk elbow 90°

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$K_f = 0,75 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,75 \times \frac{(0,94 \text{ m/s})^2}{2} = 0,3313 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Digunakan 4 elbow 90°

$$hf = 4 \times 0,3313 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 1,3253 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

e. Friksi untuk *Gate valve*

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 0,17 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{(0,94 \text{ m/s})^2}{2} = 0,3848 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\text{Friksi Total } (\Sigma F) = 3,6728 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{1}{2 \times 1} \left((0,9400 \text{ m/s})^2 - (0 \text{ m/s})^2 \right) + 9,8 \text{ m/s}^2 (12,8214 \text{ m} - 3,9561 \text{ m}) +$$

$$3,6728 \text{ m}^2/\text{s}^2 + W_s = 0$$

$$-W_s = 89,25 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 89,25 \text{ J/kg}$$

Untuk laju volumetrik air = 122,45 gal/min didapatkan harga efisiensi pompa

$$(\eta) = 40 \%$$

[21]

$$\text{brake kW} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 1000} \approx \frac{-w_s \times Q \times \rho}{\eta \times 1000}$$

[21]

$$= \frac{89,30 \frac{j}{kg} \times 0,0077 \frac{m^3}{s} \times 1.008,3045 \frac{kg}{m^3}}{0,45 \times 1000}$$

$$= 1,74 \text{ kW} \approx 2,33 \text{ Hp}$$

Untuk power pompa 1,74 kW didapat harga efisiensi motor = 83% [30]

$$\text{Sehingga dipakai pompa dengan motor} = \frac{100}{83} \times 2,33 \text{ Hp} = 2,81 \text{ Hp}$$

42. Evaporator (F230)

Fungsi : untuk memekatkan susu cair

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *dished head* dan tutup bawah berbentuk konis dilengkapi dengan coil

Dasar pemilihan : cocok untuk menampung bahan yang berbentuk cair

Kondisi operasi : $T = 77^\circ\text{C}$

$$\rho \text{ susu cair} = 1.001,34 \text{ kg/m}^3 = 62,51 \text{ lbm/ft}^3$$

Perhitungan :

Massa susu cair = 7.003,73 kg

$$\text{Volume susu cair total} = \frac{7.003,73 \text{ kg}}{1.001,34 \frac{kg}{m^3}} = 6,99 \text{ m}^3 = 246,99 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume susu cair total, sehingga:

Volume tangki penampung = 1,3 volume susu cair total

$$= 1,3 \times 246,99 \text{ ft}^3 = 321,09 \text{ ft}^3$$

Ditetapkan : tinggi shell (H_t) = 1,5 diameter shell (D_t) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^\circ \text{ [28]}$$

Diameter nozzle (D_n) yang digunakan 8 inchi = 0,67 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times D_t^2 \times H_t = (\pi/4) \times 1,5 \times D_t^3$$

H_n = tinggi nozzle; H_k = tinggi konis

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } \alpha} \text{ dan } H_k = \frac{D_t}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - H_n = \frac{D_t}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{D_t - D_n}{2 \cdot \text{tg } \alpha}$$

$$\text{Volume konis} = \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_t^2 \times (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times H_n$$

$$= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_t^2 \times \left(\frac{D_t - D_n}{2 \cdot \text{tg } 30} + \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } 30} \right) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } 30}$$

$$= \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg } 30} (D_t^3 - D_n^3)$$

Volume tangki = volume *shell* + volume konis

$$91,45 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times D_t^3 + \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg } 30} (D_t^3 - D_n^3)$$

$$91,45 \text{ ft}^3 = 1,1775 D_t^3 + 0,23 D_t^3 - 0,0671$$

$$D_t = 4,02 \text{ ft}$$

$$H_t = 1,5 D_t = 1,5 \times 4,02 \text{ ft} = 6,04 \text{ ft}$$

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{0,67}{2 \cdot \text{tg } 30} = 0,58 \text{ ft}$$

$$H_k = \frac{D_t}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - H_n = \frac{4,02}{2 \cdot \text{tg } 30} - 0,58 = 2,91 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi tangki total} = H_t + H_k = (6,04 + 2,91) \text{ ft} = 8,94 \text{ ft}$$

$$\text{Volume larutan dalam konis} = \frac{\pi}{24tg30}(D_t^3 - D_n^3)$$

$$= \frac{\pi}{24tg30}(4,02^3 - 0,67^3) = 14,70 \text{ ft}^3$$

Volume larutan dalam tangki = volume larutan dalam *shell* + volume larutan dalam konis

$$70,43 \text{ ft}^3 = \text{volume larutan dalam shell} + 14,70 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = 55,64 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = (\pi/4) \times H_L \times D_t^2$$

$$55,64 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (6,05 \text{ ft})^2$$

$$\text{Tinggi larutan dalam shell (H}_L\text{)} = 4,38 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi larutan dalam tangki (Z}_t\text{)} = H_L + H_k = (4,38 + 2,91) \text{ ft} = 7,28 \text{ ft}$$

Tekanan operasi tangki

$$\text{Tekanan udara} = 1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psia}$$

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{62,53 \times 7,28}{144} = 3,16 \text{ psia [28, Eq. 3.17]}$$

$$\text{Tekanan operasi alat} = \text{tekanan udara} + \text{tekanan hidrostatik}$$

$$= (14,70 + 3,16) \text{ psia} = 17,86 \text{ psia}$$

$$P_{\text{desain}} = 1,5 \times P_{\text{operasi}} = 1,5 \times 17,86 \text{ psia} = 26,79 \text{ psia} = 1,82 \text{ atm}$$

Tebal tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah *stainless steel-316L*

- f_{all} = allowable stress = 23.000 lb/in²
- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, p.245, tabel 13.2)
- c = corrosion allowance = (1/8) = 0,125 in

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : t_s = thickness of shell (in)

P = internal design pressure (psi) = 26,79 psia

D = inside diameter (in) = 4,02 ft = 48,28 in

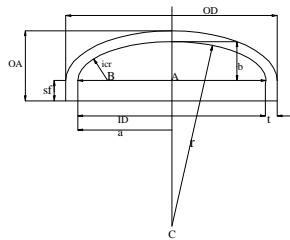
f = allowable working stress (psi) = 23000 psia

E = joint efficiency = 0,8

c = corrosion allowance = 0,125

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{26,79 \text{ psia} \times 48,28 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,16 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Tebal Dished Head



r (crown radius / radius of dish) = 24,14 in

icr (inside corner radius / knuckle radius) = 6% x 24,14 in = 1,45 in

$$W = \frac{1}{4} \times \left[3 + \sqrt{\frac{r}{icr}} \right] \quad [28, \text{ pers } 7.76]$$

$$= \frac{1}{4} \times \left[3 + \sqrt{\frac{24,14}{1,45}} \right] = 1,77$$

$$a = \frac{ID}{2} = \frac{24,14 \text{ in}}{2} = 12,07 \text{ in}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr = \frac{24,14 \text{ in}}{2} - 1,45 \text{ in} = 10,62 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = (24,14 - 1,45) \text{ in} = 22,69 \text{ in}$$

$$b = r - \sqrt{BC^2 - AB^2} = 24,14 - \sqrt{22,69^2 - 10,62^2} = 4,09 \text{ in}$$

$$t_d = \frac{P \times r \times W}{2 \times f \times E - 0,2 \times P} + c \quad [28, \text{pers 7.77, p.138}]$$

$$t_d = \frac{14,7 \text{ psia} \times 24,14 \text{ in} \times 1,77}{2 \times 23000 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times 0,8 - 0,2 \times 14,7 \text{ psia}} + 0,125 = 0,14 \text{ in} \approx \frac{3}{16} \text{ in}$$

Dipilih panjang straight-flange (sf) = 3 ½ in [28, tabel 5.8, hal.93]

$$OA = t_d + b + sf$$

$$= \left(\frac{3}{16} + 4,09 + 3 \frac{1}{2} \right) \text{ in}$$

$$= 7,78 \text{ in} = 0,65 \text{ ft} = 0,2 \text{ m}$$

Tebal tutup konis

$$\begin{aligned} \text{Tebal konis} &= \frac{P.D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c \\ &= \frac{26,79 \text{ psia} \times 48,28 \text{ in}}{2 \cos 30 (23000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 26,79 \text{ psia})} + 0,125 \\ &= 0,17 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama : tangki penampung

Fungsi : untuk menampung susu bubuk sementara dan menjaga kontinuitas antara evaporator dan spray dryer

Bahan konstruksi : *stainless steel*-316L

Kapasitas : 91,45 ft³

Diameter tangki : 4,02 ft

Tinggi shell : 6,04 ft

Tinggi konis : 2,91 ft

Tinggi tangki total : 8,94 ft

Tebal shell : 3/16 in

Tebal head : 3/16 in

Tebal konis : 3/16 in

Jumlah : 1 buah

Coil

Massa steam yang dibutuhkan untuk memanaskan (dari neraca panas):

$$m = 289,3066 \text{ kg}$$

Mencari dimensi coil

Ukuran pipa coil yang digunakan [29] 1 in sch 80:

$$d_o = 1,32 \text{ in}$$

$$d_i = 1,049 \text{ in}$$

$$a_t = 0,864 \text{ in}^2$$

$$a''_t = 0,344 \text{ ft}^2/\text{lin ft}$$

$$D_{\text{tangki}} = 6,11 \text{ ft}$$

$$h_{io} = 1.500 \text{ btu/jam.ft.}^\circ\text{F}$$

$$h_o = 1000 \text{ btu/jam.ft}^2.\text{F}$$

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} = \frac{1.500 \times 1.000}{1.500 + 1.000} = 600 \text{ btu/jam.ft.}^\circ\text{F}$$

$$R_d = 0,0015 \text{ jam.ft}^2.\text{F/btu}$$

$$U_d = \frac{1}{R_d + \frac{1}{U_c}} = \frac{1}{0,0015 + \frac{1}{600}} = 315,789 \text{ btu/jam.ft}^2.\text{F} \approx 1,793 \text{ kJ/s.m}^2.\text{K}$$

$$Q_{\text{steam}} (\text{dari neraca panas}) = 10.810.376,15 \text{ kJ/batch} \approx 1.201,15 \text{ kJ/s}$$

$$t_2 (\text{suhu bahan masuk}) = 338 \text{ K}$$

$$t_1 (\text{suhu bahan keluar}) = 350 \text{ K}$$

$$T_1, T_2 = 393 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} \Delta T_{\text{LMTD}} &= \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1} \right)} \\ &= \frac{(393 - 338) - (393 - 350)}{\ln \left(\frac{393 - 338}{393 - 350} \right)} \\ &= 48,75 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{coil}} &= \frac{Q}{U_d \times \Delta T_{\text{LMTD}}} \\ &= \frac{1.201,15 \text{ kJ/s}}{1,793 \text{ kJ/s.m}^2.\text{K} \times 48,75 \text{ K}} \\ &= 13,74 \text{ m}^2 \approx 147,89 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$L (\text{panjang coil}) = \frac{A_{\text{coil}}}{a''t} = \frac{147,89 \text{ ft}^2}{0,344 \text{ ft}^2 / \text{lin ft}} = 429,9 \text{ ft}$$

Ditetapkan:

$$D_{\text{coil}} = 0,65 \times D_t = 0,65 \times 6,11 \approx 3,97 \text{ ft}$$

Sc (jarak antar coil) = 1 - 2 in; dipilih Sc = 1 in

$$n_c = \frac{L}{\pi \times D_{\text{coil}}} = \frac{429,9 \text{ ft}}{\pi \times 3,97 \text{ ft}} = 34,43 \text{ putaran} = 35 \text{ putaran}$$

$$\begin{aligned} h_c (\text{tinggi coil}) &= [(n_c - 1) \times (d_o + S_c)] + d_o \\ &= [(35 - 1) \times (1,32 + 1)] \text{ in} + 1,32 \text{ in} \\ &= 6,57 \text{ in} \end{aligned}$$

43. Barometric condensor (G233)

Fungsi : Mengkondensasikan uap dari evaporator susu

Tipe : counter flow Barometric Condensor

Dasar pemilihan : konstruksi lebih murah dan luas permukaan kontak lebih besar

Perhitungan :

Rate uap pada 120°C (248°F) (v) = 5008,45 kg/batch

λ uap pada 248°F (λ) = 2706,3 – 503,71 = 2202,59 kJ/kg [21, App. A.2-9]

$$Q = v \cdot \lambda = 5008,45 \text{ kg/batch} \times 2202,59 \text{ kJ/kg} \\ = 11.031.558,53 \text{ kJ/batch} = 5.227.929,47 \text{ Btu/jam}$$

Kebutuhan air pendingin

$$W \text{ (gpm)} = \frac{Q}{500(T_s - t_w - t_a)} \quad [29, \text{pers 14.4, pg. 396}]$$

Dimana :

T_s = suhu uap jenuh = 248°F

t_w = suhu air pendingin = 30°C = 86°F

t_a = derajat pendekatan terhadap T_s

untuk counter flow barometric condensor, $t_a = 5^\circ\text{F}$ [29, pg. 397]

$$W = \frac{5.227.929,47 \text{ btu/jam}}{500(248 - 86 - 5)^\circ\text{F}} = 66,60 \text{ gpm}$$

Spesifikasi :

Tipe = counter flow barometric condensor

Rate uap = 5008,45 kg/batch

Kebutuhan air pendingin = 66,60 gpm

Bahan = *Stainless steel 316L*

Jumlah = 1 buah

44. Bak baromatic condenser (F234)

Fungsi : untuk menampung kondensasi uap air *barometric condenser*

Penghitungan :

Uap air yang menuju ke *barometric condenser* sebesar 5008,45 kg/batch. Bak *barometric* dirancang untuk kapasitas 1 hari. Banyak air yang ditampung dalam 1hari sebesar 45,27 m³.

Dengan asumsi Volume air = 80% volume bak

$$\text{Volume bak} = 100/80. 45,27 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume bak} = 56,59 \text{ m}^3$$

Diinginkan ukuran bak (p:l:t) = 3:3:3

$$\text{Volume bak} = p \times l \times t$$

$$56,59 \text{ m}^3 = 3x \cdot 3x \cdot 3x$$

$$X = 1,28 \text{ m}$$

$$\text{Ukuran bak : } p = 3x = 3 \times 1,28 \text{ m} = 3,84 \text{ m}$$

$$l = 3x = 3 \times 1,28 \text{ m} = 3,84 \text{ m}$$

$$t = 3x = 3 \times 1,28 \text{ m} = 3,84 \text{ m}$$

45. Tangki Penampung (F231)

Fungsi : untuk menampung susu pekat sementara dan menjaga continuitas antara evaporator dan spray dryer

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis

Dasar pemilihan : cocok untuk menampung bahan yang berbentuk cair

Kondisi operasi : $T = 71,83^{\circ}\text{C}$

ρ susu pekat = $1.004,91 \text{ kg/m}^3 = 62,74 \text{ lbm/ft}^3$

Perhitungan :

Massa susu pekat = $3.990,57 \text{ kg}$

$$\text{Volume susu pekat total} = \frac{3.990,57 \text{ kg}}{1.004,91 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 3,97 \text{ m}^3 = 140,23 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume susu pekat total, sehingga:

$$\begin{aligned}\text{Volume tangki penampung} &= 1,3 \text{ volume susu pekat total} \\ &= 1,3 \times 140,23 \text{ ft}^3 = 182,30 \text{ ft}^3\end{aligned}$$

Ditetapkan : tinggi shell (H_t) = 1,5 diameter shell (D_t) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^{\circ} [28]$$

Diameter nozzle (D_n) yang digunakan 8 inchi = 0,67 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times D_t^2 \times H_t = (\pi/4) \times 1,5 \times D_t^3$$

H_n = tinggi nozzle; H_k = tinggi konis

$$H_n = \frac{D_n}{2.\text{tg } \alpha} \text{ dan } H_k = \frac{D_t}{2.\text{tg } \alpha} - H_n = \frac{D_t}{2.\text{tg } \alpha} - \frac{D_n}{2.\text{tg } \alpha} = \frac{D_t - D_n}{2.\text{tg } \alpha}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \pi x \frac{Dt^2}{4} x (Hk + Hn) - \frac{1}{3} \pi x \frac{Dn^2}{4} x Hn \\
 &= \frac{1}{3} \pi x \frac{Dt^2}{4} x \left(\frac{Dt - Dn}{2 \operatorname{tg} 30} + \frac{Dn}{2 \operatorname{tg} 30} \right) - \frac{1}{3} \pi x \frac{Dn^2}{4} x \frac{Dn}{2 \operatorname{tg} 30} \\
 &= \frac{\pi}{24 \operatorname{tg} 30} (Dt^3 - Dn^3)
 \end{aligned}$$

Volume tangki = volume *shell* + volume konis

$$91,15 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3 + \frac{\pi}{24 \operatorname{tg} 30} (Dt^3 - Dn^3)$$

$$91,15 \text{ ft}^3 = 1,1775 Dt^3 + 0,23 Dt^3 - 0,00682$$

$$Dt = 5,06 \text{ ft}$$

$$Ht = 1,5 Dt = 1,5 \times 5,06 \text{ ft} = 7,60 \text{ ft}$$

$$Hn = \frac{Dn}{2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{0,67}{2 \operatorname{tg} 30} = 0,58 \text{ ft}$$

$$Hk = \frac{Dt}{2 \operatorname{tg} \alpha} - Hn = \frac{5,06}{2 \operatorname{tg} 30} - 0,58 = 3,81 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi tangki total} = Ht + Hk = (7,60 + 3,81) \text{ ft} = 11,41 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume larutan dalam konis} &= \frac{\pi}{24 \operatorname{tg} 30} (Dt^3 - Dn^3) \\
 &= \frac{\pi}{24 \operatorname{tg} 30} (5,06^3 - 0,67^3) = 29,37 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

Volume larutan dalam tangki = volume larutan dalam *shell* + volume larutan dalam konis

$$140,23 \text{ ft}^3 = \text{volume larutan dalam } shell + 29,37 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam } shell = 110,87 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam } shell = (\pi/4) \times H_L \times Dt^2$$

$$110,87 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (5,06 \text{ ft})^2$$

Tinggi larutan dalam shell (H_L) = 5,51 ft

Tinggi larutan dalam tangki (Z_t) = $H_L + H_k = (5,51 + 3,81)$ ft = 9,31 ft

Tekanan operasi tangki

Tekanan udara = 1 atm = 14,70 psia

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{62,74 \times 9,31}{144} = 4,06 \text{ psia [28, Eq. 3.17]}$$

Tekanan operasi alat = tekanan udara + tekanan hidrostatik

$$= (14,70 + 4,06) \text{ psia} = 18,75 \text{ psia}$$

P desain = 1,5 x P operasi = 1,5 x 18,75 psia = 28,13 psia = 1,91 atm

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah *stainless steel-316L*

- f_{all} = allowable stress = 23.000 lb/in²
- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, pp.254, tabel 13.2)
- c = corrosion allowance = (1/8) = 0,125 in

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : t_s = thickness of shell (in)

P = internal design pressure (psi) = 28,13 psia

D = inside diameter (in) = 5,06 ft = 60,76 in

f = allowable working stress (psi) = 23000 psia

E = joint efficiency = 0,8

c = corrosion allowance = 0,125

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{28,13 \text{ psia} \times 60,76 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,17 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

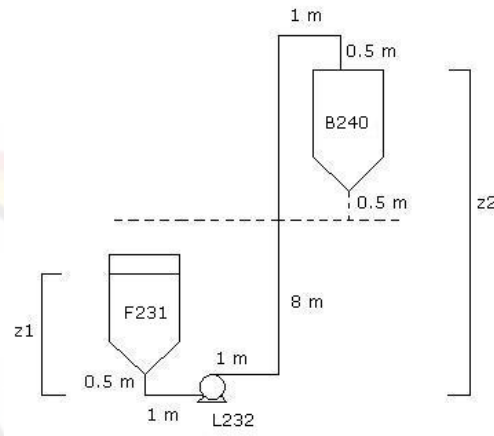
Tebal tutup konis

$$\begin{aligned}
 \text{Tebal konis} &= \frac{P.D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c \\
 &= \frac{28,13 \text{ psia} \times 48,22 \text{ in}}{2 \cos 30 \times (23000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 26,98 \text{ psia})} + 0,125 \\
 &= 0,18 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama	: tangki penampung
Fungsi	: untuk menampung susu bubuk sementara dan menjaga continuitas antara evaporator dan spray dryer
Bahan konstruksi	: <i>stainless steel</i> -316L
Kapasitas	: 182,30 ft ³
Diameter tangki	: 5,06 ft
Tinggi shell	: 7,60 ft
Tinggi konis	: 3,81 ft
Tinggi tangki total	: 11,41 ft
Tebal shell	: 3/16 in
Tebal head	: 3/16 in
Tebal konis	: 3/16 in
Jumlah	: 1 buah

46. Pompa L232



Fungsi: mengalirkan susu pekat dari tangki penampung F231 ke *spray dryer* M170

Perhitungan:

Pompa bekerja 24 jam

$$\text{Rate volumetrik} = 3,9852 \frac{m^3}{jam} \approx 0,0011 \frac{m^3}{s} \approx 11,55 \text{ gal/min}$$

$$\rho \text{ campuran} = 1.001,34 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu \text{ campuran} = 0,0021 \frac{kg}{m.s}$$

Trial : aliran turbulen, sehingga :

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad [30]$$

$$\text{dimana, } Q = \text{debit } \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$\rho = \text{densitas } \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times 0,0011^{0,45} \times 1.001,34^{0,13}$$

$$= 0,0417 \text{ m} \approx 1,6406 \text{ in}$$

Dipilih *steel pipe* (IPS) untuk *comercial steel* berukuran 1,25 in sch 40 :

$$ID = 35,05 \text{ mm} \approx 0,0351 \text{ m}$$

$$OD = 42,16 \text{ mm} \approx 0,042 \text{ m}$$

$$A = 0,001 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} \approx \frac{0,0011 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,001 \text{ m}^2} = 1,1474 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cek Trial :

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{1.001,34 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,0351 \text{ m} \times 1,1474 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,0021 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}} = 19.176,2695 \text{ (turbulen)}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad [21]$$

Perhitungan Friksi :

a. Pipa lurus

$$F_f = \frac{4 \times f \times \Delta L \times v^2}{2 \times ID} \quad [21]$$

Pipa *commersial steel*, $\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$

$$\varepsilon / ID = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,0627} = 0,0013$$

$$N_{re} = 19.176,2695$$

Dari 21, $(\varepsilon / ID \text{ vs } N_{re})$, diperoleh $f = 0,006$

$$\Delta L = 21,18 \text{ m}$$

$$Ff = \frac{4 \times 0,006 \times 21,18 \text{ m} \times \left(1,1474 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 0,0351 \text{ m}} = 9,5466 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

b. Sudden contraction

$$h_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

$$\begin{aligned} h_c &= 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} = 0,55 \times \left(1 - \frac{0,001}{0,086}\right) \times \frac{\left(1,1474 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 1} \\ &= 0,3513 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \end{aligned}$$

c. Sudden enlargement

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

$$h_{ex} = \frac{v^2}{2\alpha} = \frac{\left(1,1474 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 1} = 0,6583 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

d. Friksi untuk elbow 90°

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 0,75 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,75 \times \frac{(1,1474 \text{ m/s})^2}{2} = 0,4937 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Digunakan 4 elbow 90°

$$hf = 4 \times 0,4937 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 1,9748 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

e. Friksi untuk *Gate valve*

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 0,17 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{(1,1474 \text{ m/s})^2}{2} = 0,2583 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\text{Friksi Total } (\Sigma F) = 12,7891 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{1}{2 \times 1} \left((1,1474 \text{ m/s})^2 - (0 \text{ m/s})^2 \right) + 9,8 \text{ m/s}^2 (16,68 \text{ m} - 3,3388 \text{ m}) +$$

$$12,7891 \text{ m}^2/\text{s}^2 + W_s = 0$$

$$-W_s = 142,87 \frac{m^2}{s^2} = 142,87 \frac{J}{kg}$$

Untuk laju volumetrik air = 17,55 gal/min didapatkan harga efisiensi pompa

$$(\eta)=35\% \quad [21]$$

$$\begin{aligned} \text{brake kW} &= \frac{-w_s \times m}{\eta \times 1000} \approx \frac{-w_s \times Q \times \rho}{\eta \times 1000} \\ &= \frac{142,87 \frac{J}{kg} \times 0,0011 \frac{m^3}{s} \times 1.001,34 \frac{kg}{m^3}}{0,35 \times 1000} = 0,9 \text{ kW} \approx 1,21 \text{ Hp} \end{aligned} \quad [21]$$

Untuk power pompa 0,9 kW didapat harga efisiensi motor = 81 % [30]

$$\text{Sehingga dipakai pompa dengan motor} = \frac{100}{81} \times 1,21 \text{ Hp} = 1,49 \text{ Hp}$$

47. Spray Dryer (B240)

Fungsi : Untuk mengeringkan susu pekat menjadi susu bubuk

Tipe : Bejana silinder dengan bagian bawah berbentuk konis dan tutup atas berbentuk *dished head*

Kapasitas : 798,11 kg/jam

Kondisi operasi :

- Tekanan operasi = 1atm=101,325 kPa
- Temperatur bahan masuk = 71,83°C
- Temperatur udara panas masuk = 125°C

Laju pengeringan 427,86 kg air/jam

Berdasarkan laju pengeringan dan suhu udara masuk dipilih :

Volume *chamber* = 3.500 ft³

[34, Fig. 20-72]

$$\text{Diameter} = 18,50 \text{ ft} = 5,64 \text{ m} \quad [34, \text{ Fig. 20-72}]$$

$$\text{Tinggi shell, } H_s = 0,4 \times D = 7,40 \text{ ft} = 2,26 \text{ m} \quad [34, \text{ Fig. 20-72}]$$

$$\text{Volume silinder} = \pi/4 \times D^2 \times H_s = \pi/4 \times (18,50 \text{ ft})^2 \times (7,40 \text{ ft}) = 1.988,13 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume konis} = \text{volume chamber} - \text{volume silinder}$$

$$= 3.500 \text{ ft}^3 - 1.988,13 \text{ ft}^3$$

$$= 1.511,87 \text{ ft}^3$$

$$M = 12 \text{ in} = 1 \text{ ft} \quad [35, \text{ hal 85}]$$

$$\text{Volume konis} = 1/3 \times \pi/4 \times h_c \times (D^2 + DM + M^2)$$

$$1.511,87 = 1/3 \times \pi/4 \times h_c \times (18,50^2 + 18,50 \times 1 + 1^2)$$

$$h_c = 15,97 \text{ ft} = 4,87 \text{ m}$$

Untuk shell, tutup bagian atas, dan bawah dipilih bahan konstruksi *stainless steel-316 L* :

- $f_{all} = \text{allowable stress} = 23.000 \text{ lb/in}^2$
- $E = \text{efisiensi sambungan} = 0,8$ (double welded butt joint, 28, pp.245, tabel 13.2)
- $ID = \text{diameter shell} = 5,64 \text{ m} = 222,00 \text{ in}$
- $r_i = \frac{ID}{2} = 111,00 \text{ in}$
- $P = 14,7 \text{ psia}$
- $c = \text{Corrosion allowance} = 0,125 \text{ in}$

Tebal shell

$$t_s = \frac{P \times r_i}{f_{all} \times E - 0,6 \times P}$$

$$t_s = \frac{14,7 \text{ psia} \times 111,00 \text{ in}}{23000 \text{ lb/in}^2 \times 0,80 - 0,6 \times 14,7 \text{ psia}} = 0,09 \text{ in} \approx \frac{2}{16} \text{ in}$$

Tebal konis

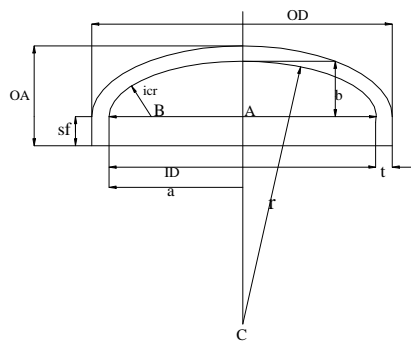
Untuk $\frac{1}{2}$ sudut puncak (α) tidak lebih besar dari 30° digunakan persamaan 6.154, p.118,

28.

$$t_c = \frac{P \times ID}{2 \times \cos \alpha \times (f_{all} \times E - 0,6 \times P)} + c$$

$$t_c = \frac{14,7 \text{ psia} \times 222,00 \text{ in}}{2 \times \cos 30^\circ \times (23000 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times 0,80 - 0,6 \times 14,7 \text{ psia})} = 0,70 \text{ in} \approx \frac{12}{16} \text{ in}$$

Tebal Dished Head



$$r \text{ (crown radius / radius of dish)} = 222,00 \text{ in}$$

$$icr \text{ (inside corner radius / knuckle radius)} = 6\% \times 222,00 \text{ in} = 13,32 \text{ in}$$

$$W = \frac{1}{4} \times \left[3 + \sqrt{\frac{r}{icr}} \right] \quad [28, \text{ pers 7.76}]$$

$$= \frac{1}{4} \times \left[3 + \sqrt{\frac{222,00}{13,32}} \right]$$

$$= 1,77$$

$$a = \frac{ID}{2} = \frac{222,00 \text{ in}}{2} = 111,00 \text{ in}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr = \frac{222,00 \text{ in}}{2} - 13,32 \text{ in} = 97,68 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = (222,00 - 13,32) \text{ in} = 208,68 \text{ in}$$

$$b = r - \sqrt{BC^2 - AB^2} = 222,00 - \sqrt{208,68^2 - 97,68^2} = 37,59 \text{ in}$$

$$t_d = \frac{P \times r \times W}{2 \times f \times E - 0,2 \times P} + c \quad (28, \text{ pers 7.77, p.138})$$

$$t_d = \frac{14,7 \text{ psia} \times 222,00 \text{ in} \times 1,77}{2 \times 23000 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times 0,8 - 0,2 \times 14,7 \text{ psia}} + 0,125 = 0,28 \text{ in} \approx \frac{5}{16} \text{ in}$$

Dipilih panjang straight-flange (sf) = 3 ½ in [28, tabel 5.8, hal.93]

$$OA = t_d + b + sf$$

$$= \left(\frac{5}{16} + 37,59 + 3 \frac{1}{2} \right) \text{ in}$$

$$= 41,41 \text{ in} = 3,45 \text{ ft} = 1,05 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi total} = H_s + h_c + OA = 2,26 \text{ m} + 4,87 \text{ m} + 1,05 \text{ m} = 8,18 \text{ m} = 26,82 \text{ ft}$$

Spesifikasi :

Kapasitas : 798,11 kg/jam

Diameter : 18,50 ft

Tinggi sprat dryer total : 26,82 ft

Tebal shell : 0,09 in $\approx \frac{2}{16}$ in

Tebal tutup bawah (konis) : 0,70 in $\approx \frac{12}{16}$ in

Tebal tutup atas (dished head) : 0,28 in $\approx \frac{5}{16}$ in

Bahan konstruksi : *Stainless steel-316 L*

Jumlah spray dryer : 1 buah

Atomizer

Jenis : *Centrifugal dish*

Menentukan putaran centrifugal dish :

$$\frac{D_{vs}}{r} = 0,4 \left[\frac{\Gamma}{\rho_L \times N \times r^2} \right]^{0,6} \left[\frac{\mu}{\Gamma} \right]^{0,2} \left[\frac{\alpha \times \rho_L \times L_w}{\Gamma^2} \right]^{0,1} \quad (36, \text{ pers.12-65})$$

D_{vs} = diameter semprotan rata-rata = $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,0005 \text{ ft}$

D_i = diameter dish = $0,35 \text{ m} = 1,15 \text{ ft}$

r = jari-jari dish = $0,57 \text{ ft}$

Γ = kecepatan massa semprotan dari wetted dish peripheral, lb/min.ft

ρ_L = densitas susu pekat = $1.001,34 \text{ kg/m}^3 = 1,0013 \text{ gr/cm}^3 = 62,51 \text{ lb/ft}^3$

N = putaran dish, rpm

μ = viskositas teh pekat = $0,08 \text{ lb/ft min}$

α = liquid retention, lb/min²

L_w = wetted dish peripheral = $\pi \cdot d_i = 3,61 \text{ ft}$

Massa feed masuk = $798,11 \text{ kg/jam} = 1.759,52 \text{ lb/jam}$

$$\Gamma = \frac{\text{massa feed masuk}}{L_w} = \frac{1759,52 \text{ lb/jam}}{3,61 \text{ ft} \times 60 \text{ menit/jam}} = 8,13 \text{ lb/min.ft}$$

$$\alpha^{(1/4)} = R \times \rho_L \quad [36, \text{ pers.12-66}]$$

R = komponen paarachor = $271,7$

ρ_L = densitas teh pekat, mol/cm³

α = liquid retention, dyne

Komponen :

Susu bubuk:	BM	massa	fraksi	BM.fraksi
lemak				40.59

	296.48	109.26	0.14	
protein	89.10	95.25	0.12	10.63
laktosa	360.31	134.47	0.17	60.71
abu	40.00	20.17	0.03	1.01
air	18.00	438.96	0.55	9.90
Jumlah		798.11	1.00	122.84
$BM_{\text{campuran}} = 122,84 \text{ gr/mol}$				

$$\rho_L = \frac{1,0013 \text{ gr/cm}^3}{122,84 \text{ gr/mol}} = 0,0082 \text{ mol/cm}^3$$

$$\alpha^{(1/4)} = R \times \rho_L = 271,7 \times 0,0082 = 2,21$$

$$\alpha = 24,06 \text{ dyne/cm} = 24,06 \text{ gr/s}^2 = 190,98 \text{ lb/min}^2$$

$$\frac{0,0005}{0,57} = 0,4 \left[\frac{8,13}{62,51 \times N \times 0,57^2} \right]^{0,6} \left[\frac{0,08}{8,13} \right]^{0,2} \left[\frac{190,98 \times 62,51 \times 3,61}{8,13^2} \right]^{0,1}$$

$$N = 7.366,97 \text{ rpm} \approx 7.367 \text{ rpm}$$

Menghitung power yang dibutuhkan :

$$P = 1,04 \cdot 10^{-8} \times (r \times N)^2 \times W$$

Dimana,

P = netto horse power

r = jari – jari dish

N = putaran dish = 7.367 rpm

W = kecepatan feed = 29,33 lb/min

$$P = 1,04 \cdot 10^{-8} \times (0,57 \times 7.367)^2 \times 29,33$$

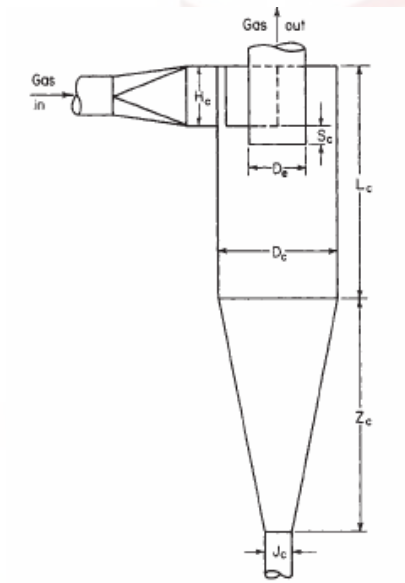
$$P = 5,46 \text{ hp} \approx 6 \text{ hp}$$

48. Cyclone (H241)

Fungsi : Untuk memisahkan susu bubuk dari aliran udara

Kapasitas : 431,45 kg padatan/jam

Gambar :



Perhitungan :

Mencari Diameter *cyclone* (D_c)

$$D_p = \left(\frac{9 \mu B_c}{\pi N_t V (\rho - \rho_g)} \right)^{0,5} \quad [36]$$

D_{partikel} untuk susu bubuk adalah $40 \mu\text{m} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0,000131 \text{ ft}$

V = kecepatan masuk cyclone, $50 \text{ ft/s} = 15,24 \text{ m/s}$ [22, pp. 617]

N_t , number of turns gas = 3,71

$\mu = \mu_{\text{udara pada } T=85^\circ\text{C}} = 0,0211 \text{ cp} = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ lbm/ft.s} = 2,1 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m.s}$

$\rho = \rho_{\text{partikel susu}} = 560,63 \text{ kg/m}^3 = 35 \text{ lb/ft}^3$

$\rho_g = \rho_{\text{udara pada } T=85^\circ\text{C}} = 0,0617 \text{ lb/ft}^3 = 0,9877 \text{ kg/m}^3$ [21, App.3-3 pp. 971]

$$Dp = \left(\frac{9 \mu B_c}{\pi N_t V (\rho - \rho_g)} \right)^{0,5}$$

$$4.10^{-5} = \left(\frac{9 \times 2,1.10^{-5} \times B_c}{\pi \times 3,71 \times 15,24 \times (560,63 - 0,9877)} \right)^{0,5}$$

$$B_c = 0,45 m$$

$$Dc = 4 \times Bc = 1,80 m$$

$$Hc = Dc/2 = 0,9 m$$

$$De = \frac{Dc}{2} = 0,9 m$$

$$Lc = 2 \cdot Dc = 3,6 m$$

$$Sc = \frac{Dc}{8} = 0,23 m$$

$$Zc = 2 \cdot Dc = 3,6 m$$

$$Jc = \frac{Dc}{4} = 0,45 m$$

Dimana :

Dc : Diameter cyclone, ft

De : Diameter lubang pengeluaran gas, ft

Hc : Diameter lubang masuk, ft

Lc : Tinggi cyclone bagian silinder, ft

Zc : Tinggi cyclone bagian kerucut, ft

Jc : Diameter lubang pengeluaran partikel, ft

Spesifikasi :

Tipe : Effluent Dust cyclone

Kapasitas : 431,45 kg padatan/hari

Ukuran Bc : 0,45 m

Dc : 1,80 m

De : 0,9 m

Hc : 0,9 m

Lc : 3,6 m

Sc : 0,23 m

Zc : 3,6 m

Jc : 0,45 m

49. Barometric condensor (G248)

Fungsi : Mengkondensasikan uap dari spray dryer susu

Tipe : counter flow Barometric Condensor

Dasar pemilihan : konstruksi lebih murah dan luas permukaan kontak lebih besar

Perhitungan :

Rate uap pada 85°C (185°F) (v) = 427,74 kg/jam

λ uap pada 185°F (λ) = 2651,9 – 355,9 = 2296 kJ/kg [21, App. A.2-9]

$Q = v \cdot \lambda = 427,74 \text{ kg/jam} \times 2296 \text{ kJ/kg} = 982.100,46 \text{ kJ/jam}$

$= 930.847,97 \text{ Btu/jam}$

Kebutuhan air pendingin

$$W \text{ (gpm)} = \frac{Q}{500(T_s - t_w - t_a)} \quad [29, \text{pers 14.4, pp. 396}]$$

Dimana :

T_s = suhu uap jenuh = 185°F

t_w = suhu air pendingin = 30°C = 86°F

t_a = derajat pendekatan terhadap T_s

untuk counter flow barometric condensor, $t_a = 5^\circ F$ [29, pp. 397]

$$W = \frac{930.847,97 \text{ } \cancel{btu} / \cancel{jam}}{500(185 - 86 - 5)^\circ F} = 19,81 \text{ gpm}$$

Spesifikasi :

Tipe = counter flow barometric condensor

Rate uap = 427,74 kg/jam

Kebutuhan air pendingin = 19,81 gpm

Bahan = *Stainless steel* 316L

Jumlah = 1 buah

50. Bak baromatic condenser (F249)

Fungsi : untuk menampung kondensasi uap air *barometric condenser*

Penghitungan :

Uap air yang menuju ke *barometric condenser* sebesar 427,74 kg/jam. Bak *barometric* dirancang untuk kapasitas 1 hari. Banyak air yang ditampung dalam 1 hari sebesar 10,31 m³.

Dengan asumsi Volume air = 80% volume bak

$$\text{Volume bak} = 100/80 \cdot 10,31 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume bak} = 12,89 \text{ m}^3$$

Diinginkan ukuran bak (p:l:t) = 1,5 : 1,5 : 3

$$\text{Volume bak} = p \times l \times t$$

$$12,89 \text{ m}^3 = 1,5x \cdot 1,5x \cdot 3x$$

$$X = 1,24 \text{ m}$$

Ukuran bak : $p = 1,5x = 1,5 \times 1,24 \text{ m} = 1,86 \text{ m}$

$l = 1,5x = 1,5 \times 1,24 \text{ m} = 1,86 \text{ m}$

$t = 3x = 3 \times 1,24 \text{ m} = 3,71 \text{ m}$

51. Screening (H242)

Fungsi: untuk menyeragamkan ukuran susu bubuk

Tipe: electrical vibrating screen

Dasar pemilihan: bisa digunakan untuk padatan dengan ukuran ≤ 400 mesh

Kondisi operasi: 30°C , $P = 1 \text{ atm}$

Kapasitas: $389,86 \text{ kg/jam} = 0,3897 \text{ ton/jam}$

Perancangan:

Menghitung luas ayakan

$$A = \frac{0,4x C_t}{C_u x F_{OA} x F_s} \quad [36, \text{pers } 19-7]$$

Dengan:

A = luas ayakan (ft^2)

C_t = kapasitas (ton/jam) = $0,3897 \text{ ton/jam}$

C_u = kapasitas unit (ton/jam.ft^2) = $0,15 \text{ ton/jam.ft}^2$ [36, fig.19-21]

F_s = factor slot area = 1 [36, table 19-7]

$$F_{OA} = \text{faktor bukaan area} = 100 \times \left[\frac{a}{a+d} \right]^2$$

Dimana: a = bukaan bersih = $0,3 \text{ in}$; d = diameter kawat = $0,25 \text{ in}$

Sehingga:

$$F_{OA} = 100 \times \left[\frac{0,3}{0,3+0,25} \right]^2 = 29,75$$

$$\text{Luas ayakan (A)} = \frac{0,4 \times C_t}{C_u \times F_{OA} \times F_s} = \frac{0,4 \times 0,3897}{0,15 \times 29,75 \times 1} = 0,0349 \text{ ft}^2$$

Menurut [30], dari grafik 13-89 dipilih ayakan dengan ukuran 1 x 3 ft

Spesifikasi:

Tipe: electrical vibrating screen

Kapasitas: 389,86 kg/jam

Ukuran ayakan: 1 x 3 ft

52. Apron Conveyor (J-245)

Fungsi : mengangkut susu bubuk dari proses screen ke tangki penampung (F244)

Tipe : apron conveyor dilengkapi dengan penutup berbentuk setengah lingkaran.

Dasar pemilihan : untuk transport material berbentuk bubuk

Perhitungan :

Kapasitas = 370,37 kg/jam

Dari [27] :

Panjang apron : 2 meter

Lebar apron : 0,3 meter

Sudut kemiringan : 45°

Tinggi penutup : 0,3 meter

Power : 0,5 hp

Material : stainless steel

Jumlah : 1 buah

53. Hammer Mill (C243)

Fungsi: menghancurkan susu bubuk yang keluar dari spray dryer dan cyclone yang ukurannya belum sesuai dengan yang diinginkan.

Tipe: Hammer mill

Dasar pemilihan: untuk menghancurkan material dalam industri makanan dan menghasilkan butiran sampai dengan ukuran 0,00039 in.

Kapasitas: 19,49 kg/jam = 0,01949 ton/jam

Dari 36, table 20-14, mendapatkan:

Dimensi rotor = 30x30 in

Ukuran maximum feed = 2 ½ in

Kecepatan maximum = 1200 rpm

Power = 100 hp

Jumlah = 1

54. Apron Conveyor (J-246)

Fungsi : mengangkut susu bubuk dari hammermill ke screening

Tipe : apron conveyor dilengkapi dengan penutup berbentuk setengah lingkaran.

Dasar pemilihan : untuk transport material berbentuk bubuk

Perhitungan :

Kapasitas = 19,49 kg/jam

Dari [27] :

Panjang apron : 2 meter

Lebar apron : 0,3 meter

Sudut kemiringan : 45°

Tinggi penutup : 0,3 meter

Power : 0,5 hp
Material : stainless steel
Jumlah : 1 buah

55. Tangki Penampung Susu Bubuk (F244)

Fungsi : untuk menampung susu bubuk yang sudah jadi dan kemudian akan dicampur dengan teh bubuk pada proses *mixing*

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis

Dasar pemilihan : cocok untuk menampung padatan, tutup berbentuk konis akan mempermudah pengeluaran dari padatan tersebut

Kondisi operasi : $T = 30^{\circ}\text{C}$

$$\rho \text{ susu bubuk} = 560,63 \text{ kg/m}^3 = 35,00 \text{ lbm/ft}^3$$

Perhitungan :

Massa susu bubuk = 370,37 kg

$$\text{Volume susu bubuk total} = \frac{370,37 \text{ kg}}{560,63 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,66 \text{ m}^3 = 23,3 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume susu bubuk total, sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki penampung} &= 1,3 \text{ volume susu bubuk total} \\ &= 1,3 \times 23,3 \text{ ft}^3 = 30,3 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Ditetapkan : tinggi shell (H_t) = 1,5 diameter shell (D_t) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^{\circ} \text{ [28]}$$

Diameter nozzle (D_n) yang digunakan 8 inchi = 0,67 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times Dt^2 \times Ht = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3$$

Hn = tinggi nozzle; Hk = tinggi konis

$$Hn = \frac{Dn}{2 \cdot \tan \alpha} \text{ dan } Hk = \frac{Dt}{2 \cdot \tan \alpha} - Hn = \frac{Dt}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{Dn}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{Dt - Dn}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dt^2 \times (Hk + Hn) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dn^2 \times Hn \\ &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dt^2 \times \left(\frac{Dt - Dn}{2 \cdot \tan 30} + \frac{Dn}{2 \cdot \tan 30} \right) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dn^2 \times \frac{Dn}{2 \cdot \tan 30} \\ &= \frac{\pi}{24 \cdot \tan 30} (Dt^3 - Dn^3) \end{aligned}$$

Volume tangki = volume *shell* + volume konis

$$15,16 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3 + \frac{\pi}{24 \cdot \tan 30} (Dt^3 - Dn^3)$$

$$15,16 \text{ ft}^3 = 1,1775 Dt^3 + 0,23 Dt^3 - 0,0671$$

$$Dt = 2,21 \text{ ft}$$

$$Ht = 1,5 Dt = 1,5 \times 2,21 \text{ ft} = 3,32 \text{ ft}$$

$$Hn = \frac{Dn}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{0,67}{2 \cdot \tan 30} = 0,58 \text{ ft}$$

$$Hk = \frac{Dt}{2 \cdot \tan \alpha} - Hn = \frac{2,21}{2 \cdot \tan 30} - 0,58 = 1,34 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi tangki total} = Ht + Hk = (3,32 + 1,34) \text{ ft} = 4,66 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume padatan dalam konis} &= \frac{\pi}{24 \cdot \tan 30} (Dt^3 - Dn^3) \\ &= \frac{\pi}{24 \cdot \tan 30} (2,21^3 - 0,67^3) = 2,39 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Volume padatan dalam tangki = volume padatan dalam *shell* + volume padatan dalam konis

$$11,66 \text{ ft}^3 = \text{volume padatan dalam shell} + 2,39 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume padatan dalam shell} = 9,27 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume padatan dalam shell} = (\pi/4) \times H_L \times D^2$$

$$9,27 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (2,21 \text{ ft})^2$$

$$\text{Tinggi padatan dalam shell } (H_L) = 2,41 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi padatan dalam tangki } (Z_t) = H_L + H_k = (2,41 + 1,34) \text{ ft} = 3,75 \text{ ft}$$

Tekanan operasi tangki

$$\text{Tekanan udara} = 1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psia}$$

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{35,00 \times 3,75}{144} = 0,91 \text{ psia} [28, \text{Eq. 3.17}]$$

$$\text{Tekanan operasi alat} = \text{tekanan udara} + \text{tekanan hidrostatik}$$

$$= (14,70 + 0,91) \text{ psia} = 15,61 \text{ psia}$$

$$P_{\text{desain}} = 1,5 \times P_{\text{operasi}} = 1,5 \times 15,61 \text{ psia} = 23,41 \text{ psia} = 1,59 \text{ atm}$$

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah *stainless steel-316L*

- $f_{\text{all}} = \text{allowable stress} = 23.000 \text{ lb/in}^2$
- $E = \text{efisiensi sambungan} = 0,8$ (double welded butt joint, 28, p.245, tabel 13.2)
- $c = \text{corrosion allowance} = (1/8) = 0,125 \text{ in}$

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : $t_s = \text{thickness of shell (in)}$

$$P = \text{internal design pressure (psi)} = 23,41 \text{ psia}$$

$$D = \text{inside diameter (in)} = 2,21 \text{ ft} = 26,56 \text{ in}$$

$$f = \text{allowable working stress (psi)} = 23000 \text{ psia}$$

$$E = \text{joint efficiency} = 0,8$$

$c = \text{corrosion allowance} = 0,125$

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{23,41 \text{ psia} \times 26,56 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,14 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup konis

$$\begin{aligned} \text{Tebal konis} &= \frac{P.D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c \\ &= \frac{23,41 \text{ psia} \times 26,56 \text{ in}}{2 \cos 30 (23000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 23,41 \text{ psia})} + 0,125 \\ &= 0,14 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama : tangki penampung

Fungsi : untuk menampung susu bubuk yang sudah jadi dan kemudian akan dicampur dengan teh bubuk pada proses *mixing*

Bahan konstruksi : *stainless steel-316L*

Kapasitas : 15,16 ft³

Diameter tangki : 2,21 ft

Tinggi shell : 3,32 ft

Tinggi konis : 1,34 ft

Tinggi tangki total : 4,66 ft

Tebal shell : 3/16 in

Tebal head : 3/16 in

Tebal konis : 3/16 in

Jumlah : 1 buah

56. Apron Conveyor (J-247)

Fungsi : mengangkut susu bubuk dari tangki penampung (F244) ke mixer (M250)

Tipe : apron conveyor dilengkapi dengan penutup berbentuk setengah lingkaran.

Dasar pemilihan : untuk transport material berbentuk bubuk

Perhitungan :

Kapasitas = 370,37 kg/jam

Dari [27] :

Panjang apron : 2 meter

Lebar apron : 0,3 meter

Sudut kemiringan : 45°

Tinggi penutup : 0,3 meter

Power : 0,5 hp

Material : stainless steel

Jumlah : 1 buah

57. Mixer (M250)

Fungsi : untuk mencampur teh bubuk dan susu bubuk

Tipe: mixer tipe V

Dasar pemilihan : cocok untuk pencampuran padatan yang berupa bubuk

Kapasitas: 1 ton/jam

Kecepatan maximum = 1750 rpm

Power = 5 hp

Jumlah = 1

58. Apron Conveyor (J-251)

Fungsi : mengangkut milk tea powder dari mixer (M250) ke packaging (X260)

Tipe : apron conveyor dilengkapi dengan penutup berbentuk setengah lingkaran.

Dasar pemilihan : untuk transport material berbentuk bubuk

Perhitungan :

Kapasitas = 740,74 kg/jam

Dari [27] :

Panjang apron : 2 meter

Lebar apron : 0,3 meter

Sudut kemiringan : 45°

Tinggi penutup : 0,3 meter

Power : 0,5 hp

Material : stainless steel

Jumlah : 1 buah

59. Packaging Milk Tea Powder (X260)

Fungsi : untuk mengemas produk yang berupa bubuk

Ukuran kemasan : min. 100 x 100 mm

max. 160 x 250 mm

Kecepatan : 250 – 400 bungkus / menit

Power : 0,75 hp

Dimensi (p x l x t) : 950 x 690 x 1830 mm

Berat : 266 kg

Jumlah : 1 buah

60. Tangki Penampung Caramel (F311) dalam gudang bahan baku

Fungsi : untuk menampung *caramel* sementara

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis.

Dasar pemilihan : cocok untuk menampung bahan baku yang berbentuk cairan pekat.

Kondisi operasi : $T = 30^{\circ}\text{C}$

Perhitungan :

Massa air masuk = 305,98 kg

Massa gula pasir = 917,95 kg

Massa total = 1.223,93 kg

$$\text{Fraksi air} = \frac{305,98}{305,98 + 917,95} = 0,25$$

$$\text{Fraksi gula pasir} = \frac{917,95}{305,98 + 917,95} = 0,75$$

$$\rho \text{ gula pasir} = 1.580 \text{ kg/m}^3$$

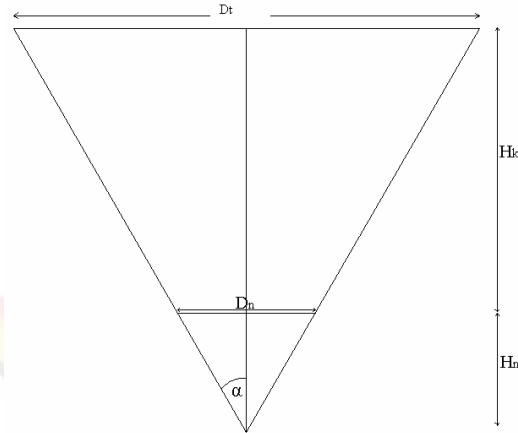
$$\rho \text{ air} = 995,68 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\left[\frac{0,25}{995,68} + \frac{0,75}{1.580} \right]} = 1.377,85 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volume campuran total} = \frac{1.223,93 \text{ kg}}{1.377,85 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,89 \text{ m}^3 = 31,37 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume campuran total, sehingga:

$$\text{Volume tangki penampung} = 1,3 \times 31,37 \text{ ft}^3 = 40,78 \text{ ft}^3$$



Ditetapkan : tinggi shell (H_t) = 1,5 diameter shell (D_t) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

α (sudut konis) = 30° [28]

Diameter nozzle (D_n) yang digunakan 4 inchi = 0,33 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times D_t^2 \times H_t = (\pi/4) \times 1,5 \times D_t^3$$

H_n = tinggi nozzle; H_k = tinggi konis

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} \text{ dan } H_k = \frac{D_t}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{D_t}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{D_t - D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_t^2 \times (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times H_n \\ &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_t^2 \times \left(\frac{D_t - D_n}{2 \tan 30} + \frac{D_n}{2 \tan 30} \right) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times \frac{D_n}{2 \tan 30} \\ &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (D_t^3 - D_n^3) \end{aligned}$$

Volume tangki = volume *shell* + volume konis

$$40,78 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times D_t^3 + \frac{\pi}{24 \tan 30} (D_t^3 - D_n^3)$$

$$40,78 \text{ ft}^3 = 1,1775 D_t^3 + 0,23 D_t^3 - 0,0081$$

$$D_t = 3,07 \text{ ft}$$

$$H_t = 1,5 D_t = 1,5 \times 3,07 \text{ ft} = 4,61 \text{ ft}$$

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{0,33}{2 \tan 30} = 0,29 \text{ ft}$$

$$H_k = \frac{D_t}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{3,07}{2 \tan 30} - 0,29 = 2,37 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi tangki total} = H_t + H_k = (4,61 + 2,37) \text{ ft} = 6,98 \text{ ft}$$

$$\text{Volume larutan konis} = \frac{\pi}{24 \tan 30} (D_t^3 - D_n^3) = \frac{\pi}{24 \tan 30} (3,07^3 - 0,33^3) = 6,57 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam tangki} = \text{volume larutan dalam shell} + \text{volume larutan dalam konis}$$

$$31,37 \text{ ft}^3 = \text{volume air dalam shell} + 6,57 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = 24,79 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = (\pi/4) \times H_L \times D_t^2$$

$$24,79 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (3,07 \text{ ft})^2$$

$$\text{Tinggi larutan dalam shell } (H_L) = 3,34 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi larutan dalam tangki } (Z_t) = H_L + H_k = (3,34 + 2,37) \text{ ft} = 5,71 \text{ ft}$$

Tekanan operasi tangki

$$\text{Tekanan udara} = 1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psia}$$

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{86,02 \times 5,71}{144} = 3,41 \text{ psia} [28, \text{Eq. 3.17}]$$

$$\text{Tekanan operasi alat} = \text{tekanan udara} + \text{tekanan hidrostatik}$$

$$= (14,70 + 3,41) \text{ psia} = 18,11 \text{ psia}$$

$$P_{\text{desain}} = 1,5 \times P_{\text{operasi}} = 1,5 \times 18,11 \text{ psia} = 27,16 \text{ psia} = 1,85 \text{ atm}$$

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah stainless steel-316L

- f_{all} = allowable stress = 23.000 lb/in²
- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, p.254, tabel 13.2)
- c = corrosion allowance = (1/8) = 0,125 in

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : t_s = thickness of shell (in)

P = internal design pressure (psi) = 27,16 psia

D = inside diameter (in) = 3,07 ft = 36,88 in

f = allowable working stress (psi) = 23000 psia

E = joint efficiency = 0,8

c = corrosion allowance = 0,125

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{27,16 \text{ psia} \times 36,88 \text{ in}}{2 \times 23.000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,15 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup konis

$$\begin{aligned} \text{Tebal konis} &= \frac{P.D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c \\ &= \frac{27,16 \text{ psia} \times 36,88 \text{ in}}{2 \cos 30 \times (23.000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 27,16 \text{ psia})} + 0,125 \\ &= 0,16 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama : tangki penampung *caramel*

Fungsi : untuk menampung *caramel* sementara

Bahan konstruksi : *stainless steel-316L*

Kapasitas : 40,78 ft³

Jumlah : 4 buah

Fungsi: mengalirkan *caramel* dari tangki penampung *caramel* F311 dalam gudang bahan baku ke tangki penampung *caramel* F310

Perhitungan:

Pompa bekerja 15 menit/batch

$$\text{Rate volumetrik} = 0,0987 \frac{m^3}{\text{batch}} \approx 0,0001 \frac{m^3}{s} \approx 1,74 \text{ gal/min}$$

$$\rho \text{ campuran} = 1.377,8503 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu \text{ campuran} = 0,0047 \frac{kg}{m.s}$$

Trial : aliran turbulen, sehingga :

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad [30]$$

$$\text{dimana, } Q = \text{debit } \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$\rho = \text{densitas } \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times 0,0001^{0,45} \times 1.377,8503^{0,13} = 0,0153 \text{ m} \approx 0,6042 \text{ in}$$

Dipilih *steel pipe* (IPS) untuk *comercial steel* berukuran 0,5 in sch 40 :

$$ID = 15,8 \text{ mm} \approx 0,0158 \text{ m}$$

$$OD = 21,34 \text{ mm} \approx 0,0213 \text{ m}$$

$$A = 0,0002 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} \approx \frac{0,0001 \frac{m^3}{s}}{0,0002 m^2} = 0,5724 \frac{m}{s}$$

Cek Trial :

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{1.377,8503 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,0158 \text{ m} \times 0,5724 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,0047 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}}$$

$$= 2.651,1591 \text{ (laminer)}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad [21]$$

Perhitungan Friksi :

a. Pipa lurus

$$F_f = \frac{4 \times f \times \Delta L \times v^2}{2 \times ID} \quad [21]$$

Pipa *commercial steel*, $\epsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$

$$\epsilon / ID = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,0158} = 0,0029$$

$$N_{re} = 2.651,1591$$

Dari Geankoplis (ϵ / ID vs N_{re}), diperoleh $f = 0,0049$

$$\Delta L = 27 \text{ m}$$

$$F_f = \frac{4 \times 0,0049 \times 27 \text{ m} \times (0,5724 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \times 0,0158 \text{ m}} = 5,4863 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

b. *Sudden contraction*

$$h_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

$$h_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} = 0,55 \times \left(1 - \frac{0,0002}{0,0081}\right) \times \frac{\left(0,5724 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 0,5}$$
$$= 0,1759 \frac{m^2}{s^2}$$

c. *Sudden enlargement*

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

$$h_{ex} = \frac{v^2}{2\alpha} = \frac{\left(0,5724 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 0,5} = 0,3276 \frac{m^2}{s^2}$$

d. Friksi untuk elbow 90°

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$K_f = 0,75 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,75 \times \frac{(0,5724 m/s)^2}{2} = 0,1229 m^2/s^2$$

Digunakan 4 elbow 90°

$$hf = 4 \times 0,1229 m^2/s^2 = 0,4914 m^2/s^2$$

e. Friksi untuk *Gate valve*

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 0,17 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{(0,5724 m/s)^2}{2} = 1,0378 m^2/s^2$$

f. Friksi untuk elbow tee

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 1 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 1 \times \frac{(0,5724 m/s)^2}{2} = 0,1638 m^2/s^2$$

Digunakan 3 elbow tee

$$hf = 3 \times 0,1638 m^2/s^2 = 0,4914 m^2/s^2$$

$$\text{Friksi Total } (\Sigma F) = 8,0105 m^2/s^2$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{1}{2 \times 1} \left(\left(0,5724 \frac{m}{s} \right)^2 - \left(0 \frac{m}{s} \right)^2 \right) + 9,8 \frac{m}{s^2} (17,5m - 2,2419m) +$$

$$8,0105 \frac{m^2}{s^2} + W_s = 0$$

$$-W_s = 157,21 \frac{m^2}{s^2} = 157,21 \frac{j}{kg}$$

Untuk laju volumetrik air = 1,74 gal/min didapatkan harga efisiensi pompa

$$(\eta) = 20 \% \quad [21]$$

$$\text{brake kW} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 1000} \approx \frac{-w_s \times Q \times \rho}{\eta \times 1000}$$

[21]

$$= \frac{157,21 \frac{j}{kg} \times 0,0001 \frac{m^3}{s} \times 1.377,8503 \frac{kg}{m^3}}{0,2 \times 1000}$$

$$= 0,12 \text{ kW} \approx 0,16 \text{ Hp}$$

Untuk power pompa 0,12 kW didapat harga efisiensi motor = 75% [30]

$$\text{Sehingga dipakai pompa dengan motor} = \frac{100}{75} \times 0,16 \text{ Hp} = 0,21 \text{ Hp}$$

62. Tangki Penampung (F310)

Fungsi : untuk menampung caramel

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis

Dasar pemilihan : cocok untuk menampung bahan berbentuk pasta

Kondisi operasi : T = 30°C

$$\rho \text{ air} = 995,68 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ gula pasir} = 1.580 \text{ kg/m}^3$$

Perhitungan :

Caramel terdiri dari:

$$\text{Massa gula pasir} = 101,99 \text{ kg}$$

$$\text{Massa air} = 34,00 \text{ kg}$$

$$\text{Fraksi gula pasir} = \frac{101,99}{101,99 + 34,00} = 0,75$$

$$\text{Fraksi air} = \frac{34,00}{101,99 + 34,00} = 0,25$$

$$\rho \text{ caramel} = \frac{1}{\left[\frac{0,75}{1580} + \frac{0,25}{995,68} \right]} = 1.377,85 \text{ kg/m}^3 = 86,02 \text{ lbm/ft}^3$$

$$\text{Massa caramel} = 135,99 \text{ kg}$$

$$\text{Volume caramel total} = \frac{135,99 \text{ kg}}{1.377,85 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,10 \text{ m}^3 = 3,49 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume caramel total, sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki penampung} &= 1,3 \text{ volume caramel total} \\ &= 1,3 \times 3,49 \text{ ft}^3 = 4,53 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Ditetapkan : tinggi shell (Ht) = 1,5 diameter shell (Dt) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^\circ [28]$$

Diameter nozzle (Dn) yang digunakan 4 inchi = 0,33 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times Dt^2 \times Ht = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3$$

Hn = tinggi nozzle; Hk = tinggi konis

$$Hn = \frac{Dn}{2 \cdot \tan \alpha} \text{ dan } Hk = \frac{Dt}{2 \cdot \tan \alpha} - Hn = \frac{Dt}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{Dn}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{Dt - Dn}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \pi x D t^2 x (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \pi x D n^2 x H_n \\
 &= \frac{1}{3} \pi x D t^2 x \left(\frac{D t - D n}{2 \operatorname{tg} 30} + \frac{D n}{2 \operatorname{tg} 30} \right) - \frac{1}{3} \pi x D n^2 x \frac{D n}{2 \operatorname{tg} 30} \\
 &= \frac{\pi}{24 \operatorname{tg} 30} (D t^3 - D n^3)
 \end{aligned}$$

Volume tangki = volume *shell* + volume konis

$$4,53 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times D t^3 + \frac{\pi}{24 \operatorname{tg} 30} (D t^3 - D n^3)$$

$$4,53 \text{ ft}^3 = 1,1775 D t^3 + 0,23 D t^3 - 0,0081$$

$$D t = 1,48 \text{ ft}$$

$$H_t = 1,5 D t = 1,5 \times 1,48 \text{ ft} = 2,22 \text{ ft}$$

$$H_n = \frac{D n}{2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{0,33}{2 \operatorname{tg} 30} = 0,29 \text{ ft}$$

$$H_k = \frac{D t}{2 \operatorname{tg} \alpha} - H_n = \frac{1,48}{2 \operatorname{tg} 30} - 0,29 = 0,99 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi tangki total} = H_t + H_k = (2,22 + 0,99) \text{ ft} = 3,21 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume larutan dalam konis} &= \frac{\pi}{24 \operatorname{tg} 30} (D t^3 - D n^3) \\
 &= \frac{\pi}{24 \operatorname{tg} 30} (1,48^3 - 0,33^3) = 0,72 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

Volume larutan dalam tangki = volume larutan dalam *shell* + volume larutan dalam konis

$$3,49 \text{ ft}^3 = \text{volume larutan dalam } shell + 0,72 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam } shell = 2,76 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam } shell = (\pi/4) \times H_L \times D t^2$$

$$2,76 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (1,48 \text{ ft})^2$$

Tinggi larutan dalam shell (H_L) = 1,61 ft

Tinggi larutan dalam tangki (Z_t) = $H_L + H_k = (1,61 + 0,99)$ ft = 2,60 ft

Tekanan operasi tangki

Tekanan udara = 1 atm = 14,70 psia

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{86,02 \times 2,60}{144} = 1,55 \text{ psia [28, Eq. 3.17]}$$

Tekanan operasi alat = tekanan udara + tekanan hidrostatik

$$= (14,70 + 1,55) \text{ psia} = 16,25 \text{ psia}$$

P desain = 1,5 x P operasi = 1,5 x 16,25 psia = 24,37 psia = 1,66 atm

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah *stainless steel-316L*

- f_{all} = allowable stress = 23.000 lb/in²
- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, p.254, tabel 13.2)
- c = corrosion allowance = (1/8) = 0,125 in

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi) = 24,37 psia

D = *inside diameter* (in) = 1,48 ft = 17,74 in

f = *allowable working stress* (psi) = 23000 psia

E = *joint efficiency* = 0,8

c = *corrosion allowance* = 0,125

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{24,37 \text{ psia} \times 17,74 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,14 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup konis

$$\begin{aligned}\text{Tebal konis} &= \frac{P.D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c \\ &= \frac{24,37 \text{ psia} \times 17,74 \text{ in}}{2 \cos 30 (23000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 24,37 \text{ psia})} + 0,125 \\ &= 0,14 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}\end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama	: tangki penampung
Fungsi	: untuk menampung caramel
Bahan konstruksi	: <i>stainless steel</i> -316L
Kapasitas	: 4,53 ft ³
Diameter tangki	: 1,48 ft
Tinggi shell	: 2,22 ft
Tinggi konis	: 0,99 ft
Tinggi tangki total	: 3,21 ft
Tebal shell	: 3/16 in
Tebal head	: 3/16 in
Tebal konis	: 3/16 in
Jumlah	: 1 buah

63. Tangki Mixer (M330)

Fungsi : untuk mencampur tapioca starch dan air

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis yang dilengkapi dengan pengaduk

Dasar pemilihan : cocok untuk menampung bahan berbentuk pasta

Kondisi operasi : T = 30°C

$$\rho \text{ air} = 995,68 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ tapioca starch} = 600,00 \text{ kg/m}^3$$

Perhitungan :

$$\text{Massa tapioca starch} = 134,85 \text{ kg}$$

$$\text{Massa air} = 45,33 \text{ kg}$$

$$\text{Fraksi tapioca starch} = \frac{134,85}{134,85 + 45,33} = 0,75$$

$$\text{Fraksi air} = \frac{45,33}{134,85 + 45,33} = 0,25$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\left[\frac{0,75}{600} + \frac{0,25}{995,68} \right]} = 666,65 \text{ kg/m}^3 = 41,62 \text{ lbm/ft}^3$$

$$\text{Massa campuran} = 180,18 \text{ kg}$$

$$\text{Volume campuran total} = \frac{180,18 \text{ kg}}{666,65 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,27 \text{ m}^3 = 9,54 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume campuran total, sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki penampung} &= 1,3 \text{ volume campuran total} \\ &= 1,3 \times 9,54 \text{ ft}^3 = 12,41 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Ditetapkan : tinggi shell (Ht) = 1,5 diameter shell (Dt) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^\circ [28]$$

Diameter nozzle (Dn) yang digunakan 4 inchi = 0,33 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times Dt^2 \times Ht = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3$$

Hn = tinggi nozzle; Hk = tinggi konis

$$Hn = \frac{Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha} \text{ dan } Hk = \frac{Dt}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - Hn = \frac{Dt}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - \frac{Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{Dt - Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \pi x D t^2 x (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \pi x D n^2 x H_n \\
 &= \frac{1}{3} \pi x D t^2 x \left(\frac{D t - D n}{2 \tan 30} + \frac{D n}{2 \tan 30} \right) - \frac{1}{3} \pi x D n^2 x \frac{D n}{2 \tan 30} \\
 &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (D t^3 - D n^3)
 \end{aligned}$$

Volume tangki = volume *shell* + volume konis

$$12,41 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times D t^3 + \frac{\pi}{24 \tan 30} (D t^3 - D n^3)$$

$$12,41 \text{ ft}^3 = 1,1775 D t^3 + 0,23 D t^3 - 0,0081$$

$$D t = 2,31 \text{ ft}$$

$$H_t = D t = 2,31 \text{ ft}$$

$$H_n = \frac{D n}{2 \tan \alpha} = \frac{0,33}{2 \tan 30} = 0,29 \text{ ft}$$

$$H_k = \frac{D t}{2 \tan \alpha} - H_n = \frac{2,31}{2 \tan 30} - 0,29 = 1,71 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi tangki total} = H_t + H_k = (2,31 + 1,71) \text{ ft} = 4,02 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume larutan dalam konis} &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (D t^3 - D n^3) \\
 &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (2,31^3 - 0,33^3) = 2,77 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

Volume larutan dalam tangki = volume larutan dalam *shell* + volume larutan dalam konis

$$9,54 \text{ ft}^3 = \text{volume larutan dalam } shell + 2,77 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam } shell = 6,77 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam } shell = (\pi/4) \times H_L \times D t^2$$

$$6,77 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (2,31 \text{ ft})^2$$

Tinggi larutan dalam shell (H_L) = 1,62 ft

Tinggi larutan dalam tangki (Z_t) = $H_L + H_k = (1,62 + 1,71)$ ft = 3,33 ft

Tekanan operasi tangki

Tekanan udara = 1 atm = 14,70 psia

Tekanan hidrostatik = $\frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{41,62 \times 3,33}{144} = 0,96$ psia [28, Eq. 3.17]

Tekanan operasi alat = tekanan udara + tekanan hidrostatik

$$= (14,70 + 0,96) \text{ psia} = 15,66 \text{ psia}$$

P desain = 1,5 x P operasi = 1,5 x 15,66 psia = 23,49 psia = 1,60 atm

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah *stainless steel-316L*

- f_{all} = allowable stress = 23.000 lb/in²
- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, p.254, tabel 13.2)
- c = corrosion allowance = (1/8) = 0,125 in

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi) = 23,49 psia

D = *inside diameter* (in) = 2,31 ft = 27,68 in

f = *allowable working stress* (psi) = 23000 psia

E = *joint efficiency* = 0,8

c = *corrosion allowance* = 0,125

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{23,49 \text{ psia} \times 27,68 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,14 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup konis

$$\begin{aligned}\text{Tebal konis} &= \frac{P.D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c \\ &= \frac{23,49 \text{ psi} \times 27,68 \text{ in}}{2 \cos 30 (23000 \text{ psi} \times 0,8 - 0,6 \times 23,49 \text{ psi})} + 0,125 \\ &= 0,15 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}\end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama	: tangki mixer
Fungsi	: untuk mencampur tapioca starch dan air
Bahan konstruksi	: <i>stainless steel-316L</i>
Kapasitas	: 12,41 ft ³
Diameter tangki	: 2,31 ft
Tinggi shell	: 2,31 ft
Tinggi konis	: 1,71 ft
Tinggi tangki total	: 4,02 ft
Tebal shell	: 3/16 in
Tebal head	: 3/16 in
Tebal konis	: 3/16 in
Jumlah	: 1 buah

Agitator M330

Ditetapkan:

1. Jenis agitator yang digunakan adalah *four blade paddle agitator*.

μ campuran = 0,0015 kg/m.s atau Pa.s

2. Bahan konstruksi *Stainless steel – 316L*

Dari Tabel 3.4-1 [21, p.158] diperoleh :

$$\frac{D_a}{D_t} = 0,6-0,8 \quad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \quad \frac{H}{D_t} = 1$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \quad \frac{C}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$$

Dimana: D_a = diameter pengaduk

D_t = diameter tangki

W = lebar *blade*

H = tinggi cairan dalam tangki

L = panjang *blade*

C = jarak pengaduk dari dasar tangki

J = lebar *baffle*

Sehingga didapatkan :

1. Diameter pengaduk (D_a)

$$\frac{D_a}{D_t} = 0,7 \rightarrow D_a = 0,7 D_t = 0,7 \cdot 0,7 \text{ m} = 0,49 \text{ m}$$

2. Lebar *blade* (W)

$$\frac{W}{D_a} = 0,2 \rightarrow W = 0,2 D_a = 0,2 \cdot 0,49 \text{ m} = 0,10 \text{ m}$$

3. Panjang *blade* (L)

$$\frac{L}{D_a} = 0,25 \rightarrow L = 0,25 D_a = 0,25 \cdot 0,49 \text{ m} = 0,12 \text{ m}$$

4. Jarak pengaduk dari dasar tangki (C)

$$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3} \rightarrow C = \frac{1}{3} D_t = \frac{1}{3} \cdot 0,7 \text{ m} = 0,23 \text{ m}$$

5. Lebar *baffle* (J)

$$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \rightarrow J = \frac{1}{12} \cdot D_t = \frac{1}{12} \cdot 0,7 \text{ m} = 0,06 \text{ m}$$

Perhitungan kecepatan pengadukan :

Syarat :

- Kecepatan agitator (N) antara 20 – 150 rpm [31, p.238]

$$N = 75 \text{ rpm} = 1,25 \text{ rps}$$

Power yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan [21, p.158]:

$$N_{Re} = \frac{\rho \times N \times Da^2}{\mu}$$

Dimana: Da = diameter pengaduk (m)

N = kecepatan putaran pengaduk (rps)

ρ = densitas (kg/m^3)

μ = viskositas ($\text{kg}/\text{m.s}$)

$$N_{Re} = \frac{666,65 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 1,25 \text{ rps} \times (0,49 \text{ m})^2}{0,0015 \text{ kg}/\text{m.s}} = 134.533,52 \rightarrow \textbf{Turbulen}$$

Nilai N_p dapat dicari dari literatur [21, Fig. 3.4-5]

untuk nilai $N_{Re} = 134.533,52$ dan untuk jenis *four blade paddle agitator* maka:

$$\begin{aligned} N_p &= 215 \times (N_{Re})^{-0,955} \\ &= 215 \times (134.533,52)^{-0,955} \\ &= 0,00272 \end{aligned}$$

$$P = N_p \times \rho \times N^3 \times Da^5 \quad [21, \text{p.159}]$$

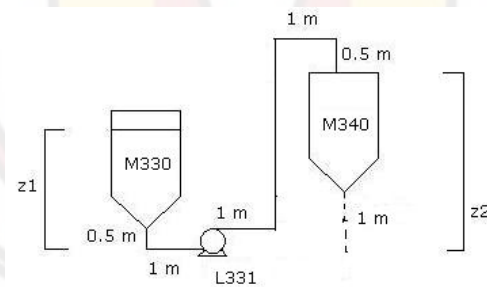
$$P = 0,00272 \times 666,65 \text{ kg}/\text{m}^3 \times (1,25)^3 \times (0,49 \text{ m})^5$$

$$P = 0,10 \text{ W} = 0,000137 \text{ Hp}$$

Effisiensi motor = 80%

$$P = \frac{0,000137 \text{ hp}}{0,8} \times 2 = 0,000343 \text{ Hp} = 0,5 \text{ Hp}$$

64. Pompa L331



Fungsi: mengalirkan larutan *tapioca starch* dari tangki *penampung* M330 ke tangki *mixing* M340

Perhitungan:

Pompa bekerja 15 menit/batch

$$\text{Rate volumetrik} = 0,2703 \text{ m}^3/\text{batch} \approx 0,0003 \text{ m}^3/\text{s} \approx 4,76 \text{ gal/min}$$

$$\rho \text{ campuran} = 666,65 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu \text{ campuran} = 0,0015 \text{ kg/m.s}$$

Trial : aliran turbulen, sehingga :

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad [30]$$

dimana, Q = debit (m^3/s)

$$\rho = \text{densitas } (kg/m^3)$$

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times 0,0003^{0,45} \times 666,65^{0,13} = 0,022 \text{ m} \approx 0,8651 \text{ in}$$

Dipilih *steel pipe* (IPS) untuk *comercial steel* berukuran 1 in sch 40 :

$$ID = 26,64 \text{ mm} \approx 0,0266 \text{ m}$$

$$OD = 33,4 \text{ mm} \approx 0,0334 \text{ m}$$

$$A = 0,0006 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} \approx \frac{0,0003 \frac{m^3}{s}}{0,0006 m^2} = 0,5388 \frac{m}{s}$$

Cek Trial :

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{666,6512 \frac{kg}{m^3} \times 0,0266 \text{ m} \times 0,5388 \frac{m}{s}}{0,0015 \frac{kg}{m.s}} = 6.378,8456 \text{ (turbulen)}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad [21]$$

Perhitungan Friksi :

a. Pipa lurus

$$F_f = \frac{4 \times f \times \Delta L \times v^2}{2 \times ID} \quad [21]$$

Pipa *comercial steel*, $\epsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$

$$\epsilon / ID = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,0266} = 0,0017$$

$$N_{re} = 6.378,8456$$

Dari Geankoplis (ϵ/D vs Nre), diperoleh $f = 0,007$

$$\Delta L = 6,87 \text{ m}$$

$$Ff = \frac{4 \times 0,007 \times 6,87 \text{ m} \times (0,5388 \text{ m/s})^2}{2 \times 0,0266 \text{ m}} = 1,0469 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

b. Sudden contraction

$$h_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

$$\begin{aligned} h_c &= 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} = 0,55 \times \left(1 - \frac{0,0006}{0,0081}\right) \times \frac{(0,5388 \text{ m/s})^2}{2 \times 1} \\ &= 0,0743 \text{ m}^2/\text{s}^2 \end{aligned}$$

c. Sudden enlargement

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

$$h_{ex} = \frac{v^2}{2\alpha} = \frac{\left(0,5388 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 1} = 0,1451 \frac{m^2}{s^2}$$

d. Friksi untuk elbow 90°

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 0,75 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,75 \times \frac{\left(0,5388 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 0,1089 \frac{m^2}{s^2}$$

Digunakan 4 elbow 90°

$$hf = 4 \times 0,1089 \frac{m^2}{s^2} = 0,4354 \frac{m^2}{s^2}$$

e. Friksi untuk *Gate valve*

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 0,17 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{\left(0,5388 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 1,1713 \frac{m^2}{s^2}$$

$$\text{Friksi Total } (\Sigma F) = 2,8731 \frac{m^2}{s^2}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{1}{2 \times 1} \left(\left(0,5388 \frac{m}{s} \right)^2 - \left(0 \frac{m}{s} \right)^2 \right) + 9,8 \frac{m}{s^2} (2,3628m - 1,5148m) +$$

$$2,8731 \frac{m^2}{s^2} + W_s = 0$$

$$-W_s = 11,04 \frac{m^2}{s^2} = 11,04 \frac{j}{kg}$$

Untuk laju volumetrik air = 4,76 gal/min didapatkan harga efisiensi pompa

$$(\eta) = 20 \% \quad [21]$$

$$\text{brake kW} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 1000} \approx \frac{-w_s \times Q \times \rho}{\eta \times 1000}$$

[21]

$$= \frac{11,04 \frac{j}{kg} \times 0,0003 \frac{m^3}{s} \times 666,65 \frac{kg}{m^3}}{0,2 \times 1000}$$

$$= 0,01 \text{ kW} \approx 0,01 \text{ Hp}$$

Untuk power pompa 0,01 kW didapat harga efisiensi motor = 75% [30]

$$\begin{aligned} \text{Sehingga dipakai pompa dengan motor} &= \frac{100}{75} \times 0,01 \text{ Hp} \\ &= 0,02 \text{ Hp} \approx 0,13 \text{ Hp} \end{aligned}$$

65. Tangki Mixer (M340)

Fungsi : untuk mencampur larutan tapioca starch dan caramel

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis yang dilengkapi dengan pengaduk

Dasar pemilihan : cocok untuk menampung bahan berbentuk pasta

Kondisi operasi : T = 120°C

$$\rho \text{ air} = 944,46 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ tapioca starch} = 600,00 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ gula pasir} = 1.580,00 \text{ kg/m}^3$$

Perhitungan :

Pasta Mutiara terdiri dari:

$$\text{Massa gula pasir} = 101,99 \text{ kg}$$

$$\text{Massa tapioca starch} = 122,47 \text{ kg}$$

$$\text{Massa air} = 91,71 \text{ kg}$$

$$\text{Fraksi gula pasir} = \frac{101,99}{101,99 + 122,47 + 91,71} = 0,32$$

$$\text{Fraksi tapioca starch} = \frac{122,47}{101,99 + 122,47 + 91,71} = 0,39$$

$$\text{Fraksi air} = \frac{91,71}{101,99 + 122,47 + 91,71} = 0,29$$

$$\rho \text{ pasta mutiara} = \frac{1}{\left[\frac{0,32}{1580} + \frac{0,39}{600} + \frac{0,29}{944,46} \right]} = 864,39 \text{ kg/m}^3 = 53,96 \text{ lbm/ft}^3$$

$$\text{Massa pasta mutiara} = 316,18 \text{ kg}$$

$$\text{Volume pasta mutiara total} = \frac{316,18 \text{ kg}}{864,39 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,36 \text{ m}^3 = 12,92 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume pasta mutiara total, sehingga:

$$\text{Volume tangki penampung} = 1,3 \text{ volume pasta mutiara}$$

$$= 1,3 \times 12,92 \text{ ft}^3 = 16,79 \text{ ft}^3$$

Ditetapkan : tinggi shell (Ht) = 1,5 diameter shell (Dt) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^\circ \text{ [28]}$$

Diameter nozzle (Dn) yang digunakan 4 inchi = 0,33 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times Dt^2 \times Ht = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3$$

Hn = tinggi nozzle; Hk = tinggi konis

$$Hn = \frac{Dn}{2 \cdot \tan \alpha} \text{ dan } Hk = \frac{Dt}{2 \cdot \tan \alpha} - Hn = \frac{Dt}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{Dn}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{Dt - Dn}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \pi \frac{Dt^2}{4} (Hk + Hn) - \frac{1}{3} \pi \frac{Dn^2}{4} Hn \\ &= \frac{1}{3} \pi \frac{Dt^2}{4} \left(\frac{Dt - Dn}{2 \tan 30} + \frac{Dn}{2 \tan 30} \right) - \frac{1}{3} \pi \frac{Dn^2}{4} \frac{Dn}{2 \tan 30} \\ &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (Dt^3 - Dn^3) \end{aligned}$$

Volume tangki = volume *shell* + volume konis

$$16,79 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3 + \frac{\pi}{24 \tan 30} (Dt^3 - Dn^3)$$

$$16,79 \text{ ft}^3 = 1,1775 Dt^3 + 0,23 Dt^3 - 0,0081$$

$$Dt = 2,55 \text{ ft}$$

$$Ht = Dt = 2,55 \text{ ft}$$

$$Hn = \frac{Dn}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{0,33}{2 \tan 30} = 0,29 \text{ ft}$$

$$Hk = \frac{Dt}{2 \cdot \tan \alpha} - Hn = \frac{2,55}{2 \tan 30} - 0,29 = 1,92 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi tangki total} = Ht + Hk = (2,55 + 1,92) \text{ ft} = 4,47 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume larutan dalam konis} &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (Dt^3 - Dn^3) \\ &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (2,55^3 - 0,33^3) = 3,75 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Volume larutan dalam tangki = volume larutan dalam *shell* + volume larutan dalam konis

$$12,92 \text{ ft}^3 = \text{volume larutan dalam } shell + 3,75 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam } shell = 9,16 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam } shell = (\pi/4) \times H_L \times D_t^2$$

$$9,16 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (2,55 \text{ ft})^2$$

$$\text{Tinggi larutan dalam shell } (H_L) = 1,79 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi larutan dalam tangki } (Z_t) = H_L + H_k = (1,79 + 1,92) \text{ ft} = 3,71 \text{ ft}$$

Tekanan operasi tangki

$$\text{Tekanan udara} = 1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psia}$$

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{53,96 \times 3,71}{144} = 1,39 \text{ psia [28, Eq. 3.17]}$$

$$\text{Tekanan operasi alat} = \text{tekanan udara} + \text{tekanan hidrostatik}$$

$$= (14,70 + 1,39) \text{ psia} = 16,09 \text{ psia}$$

$$P_{\text{desain}} = 1,5 \times P_{\text{operasi}} = 1,5 \times 16,09 \text{ psia} = 24,13 \text{ psia} = 1,64 \text{ atm}$$

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah *stainless steel-316L*

- $f_{all} = \text{allowable stress} = 23.000 \text{ lb/in}^2$
- $E = \text{efisiensi sambungan} = 0,8$ (double welded butt joint, 28, p.254, tabel 13.2)
- $c = \text{corrosion allowance} = (1/8) = 0,125 \text{ in}$

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : $t_s = \text{thickness of shell (in)}$

$$P = \text{internal design pressure (psi)} = 24,13 \text{ psia}$$

$$D = \text{inside diameter (in)} = 2,55 \text{ ft} = 30,61 \text{ in}$$

$$f = \text{allowable working stress (psi)} = 23000 \text{ psia}$$

$E = \text{joint efficiency} = 0,8$

$c = \text{corrosion allowance} = 0,125$

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{24,13 \text{ psia} \times 30,61 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,14 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup konis

$$\begin{aligned} \text{Tebal konis} &= \frac{P.D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c \\ &= \frac{24,13 \text{ psia} \times 30,61 \text{ in}}{2 \cos 30 (23000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 24,13 \text{ psia})} + 0,125 \\ &= 0,15 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama	: tangki mixer
Fungsi	: untuk mencampur tapioca starch dan caramel
Bahan konstruksi	: <i>stainless steel</i> -316L
Kapasitas	: 16,79 ft ³
Diameter tangki	: 2,55 ft
Tinggi shell	: 2,55 ft
Tinggi konis	: 1,92 ft
Tinggi tangki total	: 4,47 ft
Tebal shell	: 3/16 in
Tebal head	: 3/16 in
Tebal konis	: 3/16 in
Jumlah	: 1 buah

Agitator M340

Ditetapkan:

1. Jenis agitator yang digunakan adalah *four blade paddle agitator*.

μ campuran = 0,14 kg/m.s atau Pa.s

2. Bahan konstruksi *Stainless steel – 316L*

Dari Tabel 3.4-1 [21, pp.158] diperoleh :

$$\frac{D_a}{D_t} = 0,6-0,8 \quad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \quad \frac{H}{D_t} = 1$$
$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \quad \frac{C}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$$

Dimana: D_a = diameter pengaduk

D_t = diameter tangki

W = lebar *blade*

H = tinggi cairan dalam tangki

L = panjang *blade*

C = jarak pengaduk dari dasar tangki

J = lebar *baffle*

Sehingga didapatkan :

1. Diameter pengaduk (D_a)

$$\frac{D_a}{D_t} = 0,7 \rightarrow D_a = 0,7 D_t = 0,7 \cdot 0,78 \text{ m} = 0,54 \text{ m}$$

2. Lebar *blade* (W)

$$\frac{W}{D_a} = 0,2 \rightarrow W = 0,2 D_a = 0,2 \cdot 0,54 \text{ m} = 0,11 \text{ m}$$

3. Panjang *blade* (L)

$$\frac{L}{D_a} = 0,25 \rightarrow L = 0,25 D_a = 0,25 \cdot 0,54 \text{ m} = 0,14 \text{ m}$$

4. Jarak pengaduk dari dasar tangki (C)

$$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3} \rightarrow C = \frac{1}{3} D_t = \frac{1}{3} \cdot 0,78 \text{ m} = 0,26 \text{ m}$$

5. Lebar *buffle* (J)

$$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \rightarrow J = \frac{1}{12} \cdot D_t = \frac{1}{12} \cdot 0,78 \text{ m} = 0,06 \text{ m}$$

Perhitungan kecepatan pengadukan :

Syarat :

- Kecepatan agitator (N) antara 20 – 150 rpm [31, pp.238]

$$N = 45 \text{ rpm} = 0,75 \text{ rps}$$

Power yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan [21, pp.158]:

$$N_{Re} = \frac{\rho \times N \times Da^2}{\mu}$$

Dimana: Da = diameter pengaduk (m)

N = kecepatan putaran pengaduk (rps)

ρ = densitas (kg/m^3)

μ = viskositas ($\text{kg}/\text{m.s}$)

$$N_{Re} = \frac{864,39 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 0,75 \text{ rps} \times (0,54 \text{ m})^2}{0,14 \text{ kg}/\text{m.s}} = 1.371,6 \rightarrow \text{Laminer}$$

Nilai N_p dapat dicari dari literatur [21, Fig. 3.4-5]

untuk nilai $N_{Re} = 1.371,6$ dan untuk jenis *four blade paddle agitator* maka:

$$N_p = 215 \times (N_{Re})^{-0,955}$$

$$= 215 \times (1.371,6)^{-0,955}$$

$$= 0,21696$$

$$P = Np \times \rho \times N^3 \times Da^5 \quad [21, \text{pp.159}]$$

$$P = 0,21696 \times 864,39 \text{ kg/m}^3 \times (0,75)^3 \times (0,54 \text{ m})^5$$

$$P = 3,78 \text{ W} = 0,0051 \text{ Hp}$$

$$\text{Effisiensi motor} = 80\%$$

$$P = \frac{0,0051 \text{ hp}}{0,8} \times 2 = 0,01267 \text{ Hp} \approx 0,5 \text{ Hp}$$

Jaket Pemanas

Ditetapkan :

Steam yang digunakan adalah *saturated steam* 198,53 kPa dengan suhu 120°C.

$$\text{Spesifik volume} = 0,8908 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (21, \text{A.2-9})$$

$$\rho = (\text{spesifik volume})^{-1} = (0,8908 \text{ m}^3/\text{kg})^{-1} = 1,12 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Entalpi: } \textit{saturated vapor} (h_g) = 2.706,30 \text{ kJ/kg}$$

$$\textit{Saturated liquid} (h_f) = 503,71 \text{ kJ/kg}$$

$$\lambda = h_g - h_f = 2.706,30 - 503,71 = 2.202,59 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{gw} = h_f + \lambda \cdot x, \text{ dimana } x = \text{kualitas steam (90\%)}$$

$$= 503,71 + 2.202,59 \cdot 0,9$$

$$= 2.486,04 \text{ kJ/kg}$$

$$\lambda_w = h_{gw} - h_f = 2.486,04 - 503,71 = 1982,33 \text{ kJ/kg}$$

Asumsi :

$$H_{\text{jaket}} = H_{\text{shell}} = 0,78 \text{ m}$$

Perhitungan:

Dv (diameter shell) = 0,78 m

Q steam (dari neraca panas) = 70.180,32 kJ/batch

$$\text{Massa steam} = \frac{Q_{\text{steam}}}{\lambda_{\text{wet_steam}}} = \frac{70.180,32}{1.982,33} = 35,40 \text{ kg/batch}$$

$$\begin{aligned} \text{volume steam} &= \frac{\text{massa}}{\rho} \\ &= \frac{35,40}{1,12} = 31,54 \text{ m}^3/\text{batch} \end{aligned}$$

Waktu tinggal steam = 15 detik

$$\text{Volume steam / 15 detik (Vs)} = 31,54 \times \frac{1}{2 \times 60} \times \frac{1}{60} \times 15 = 0,07 \text{ m}^3$$

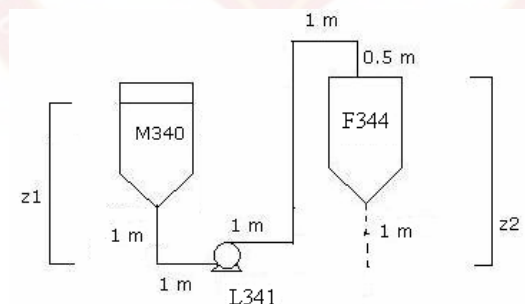
t = tebal jaket

$$Vs = t \times H_{\text{jaket}} \times (Dv + 2t)$$

$$0,07 = t \times 0,78 \times (0,78 + 2t)$$

$$t = 0,09 \text{ m}$$

66. Pompa L341



Fungsi: mengalirkan pasta mutiara dari tangki *mixing* 340 ke tangki penampung F344

Perhitungan:

Pompa bekerja 15 menit/batch

$$\text{Rate volumetrik} = 0,3658 \frac{m^3}{\text{batch}} \approx 0,00041 \frac{m^3}{s} \approx 6,44 \text{ gal/min}$$

$$\rho \text{ campuran} = 864,3938 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu \text{ campuran} = 0,14 \frac{kg}{m.s}$$

Trial : aliran turbulen, sehingga :

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad [30]$$

$$\text{dimana, } Q = \text{debit } \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$\rho = \text{densitas } \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times 0,00041^{0,45} \times 864,3938^{0,13} = 0,026 \text{ m} \approx 1,0254 \text{ in}$$

Dipilih *steel pipe* (IPS) untuk *comercial steel* berukuran 1 in sch 40 :

$$ID = 26,64 \text{ mm} \approx 0,0266 \text{ m}$$

$$OD = 33,4 \text{ mm} \approx 0,0334 \text{ m}$$

$$A = 0,0006 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} \approx \frac{0,00041 \frac{m^3}{s}}{0,0006 \text{ m}^2} = 0,7291 \frac{m}{s}$$

Cek Trial :

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{864,3938 \frac{kg}{m^3} \times 0,0266 \text{ m} \times 0,7291 \frac{m}{s}}{0,14 \frac{kg}{m.s}}$$

$$= 119,9296 \text{ (laminer)}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad [21]$$

Perhitungan Friksi :

a. Pipa lurus

$$F_f = \frac{4 \times f \times \Delta L \times v^2}{2 \times ID} \quad [21]$$

Pipa *commercial steel*, $\epsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$

$$\epsilon / ID = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,0158} = 0,0017$$

$$N_{re} = 3.572.372$$

Dari Geankoplis (ϵ / ID vs N_{re}), diperoleh $f = 0,0049$

$$\Delta L = 8,74 \text{ m}$$

$$F_f = \frac{4 \times 0,0049 \times 8,74 \text{ m} \times (0,7291 \text{ m/s})^2}{2 \times 0,0266 \text{ m}} = 1,7093 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

b. *Sudden contraction*

$$h_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

$$h_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} = 0,55 \times \left(1 - \frac{0,0006}{0,0081}\right) \times \frac{\left(0,7291 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 0,5}$$

$$= 0,2723 \frac{m^2}{s^2}$$

c. *Sudden enlargement*

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = 1/2)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

$$h_{ex} = \frac{v^2}{2\alpha} = \frac{\left(0,7291 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 0,5} = 0,5316 \frac{m^2}{s^2}$$

d. Friksi untuk elbow 90°

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$K_f = 0,75 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} = 0,75 \times \frac{\left(0,7291 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 0,1994 \frac{m^2}{s^2}$$

Digunakan 4 elbow 90°

$$h_f = 4 \times 0,1994 \frac{m^2}{s^2} = 0,7975 \frac{m^2}{s^2}$$

e. Friksi untuk *Gate valve*

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$K_f = 0,17 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$h_f = K_f \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{(0,7291 \text{ m/s})^2}{2} = 0,6395 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\text{Friksi Total } (\Sigma F) = 3,9502 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{1}{2 \times 1} \left((0,7291 \text{ m/s})^2 - (0 \text{ m/s})^2 \right) + 9,8 \text{ m/s}^2 (2,7398 \text{ m} - 2,1318 \text{ m}) +$$

$$3,9502 \text{ m}^2/\text{s}^2 + W_s = 0$$

$$-W_s = 9,38 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 9,38 \text{ J/kg}$$

Untuk laju volumetrik air = 6,44 gal/min didapatkan harga efisiensi pompa

$$(\eta) = 20 \% \quad [21]$$

$$\text{brake kW} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 1000} \approx \frac{-w_s \times Q \times \rho}{\eta \times 1000}$$

[21]

$$= \frac{9,38 \text{ J/kg} \times 0,00041 \text{ m}^3/\text{s} \times 864,3938 \text{ kg/m}^3}{0,2 \times 1000}$$

$$= 0,016 \text{ kW} \approx 0,02 \text{ Hp}$$

Untuk power pompa 0,016 kW didapat harga efisiensi motor = 75%

[30]

$$\text{Sehingga dipakai pompa dengan motor} = \frac{100}{75} \times 0,02 \text{ Hp} = 0,03 \text{ Hp} = 0,13 \text{ Hp}$$

67. Tangki Penampung (F344)

Fungsi : untuk menampung pasta mutiara sementara dan menjaga continuitas spray dryer

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis

Dasar pemilihan : cocok untuk menampung bahan yang berbentuk cairan / pasta

Kondisi operasi : $T = 71,83^{\circ}\text{C}$

Perhitungan :

Massa air = 183,42 kg

Massa tapioka starch = 244,95 kg

Massa gula pasir = 203,99 kg

$\rho \text{ air} = 944,46 \text{ kg/m}^3$

$\rho \text{ tapioka starch} = 600 \text{ kg/m}^3$

$\rho \text{ gula pasir} = 1.580 \text{ kg/m}^3$

$$\text{Fraksi air} = \frac{183,42}{183,42 + 244,95 + 203,99} = 0,29$$

$$\text{Fraksi tapioka starch} = \frac{244,95}{183,42 + 244,95 + 203,99} = 0,39$$

$$\text{Fraksi gula pasir} = \frac{203,99}{183,42 + 244,95 + 203,99} = 0,32$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{0,29}{944,46} + \frac{0,39}{600} + \frac{0,32}{1.580}} = 864,39 \text{ kg/m}^3$$

Massa pasta mutiara = 632,35 kg

$$\text{Volume pasta mutiara total} = \frac{632,35 \text{ kg}}{864,39 \text{ kg/m}^3} = 0,73 \text{ m}^3 = 25,83 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume susu pekat total, sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki penampung} &= 1,3 \text{ volume susu pekat total} \\ &= 1,3 \times 25,83 \text{ ft}^3 = 33,58 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Ditetapkan : tinggi shell (Ht) = 1,5 diameter shell (Dt) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^\circ \text{ [28]}$$

Diameter nozzle (Dn) yang digunakan 4 inchi = 0,33 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times Dt^2 \times Ht = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3$$

Hn = tinggi nozzle; Hk = tinggi konis

$$Hn = \frac{Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha} \text{ dan } Hk = \frac{Dt}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - Hn = \frac{Dt}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - \frac{Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{Dt - Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dt^2 \times (Hk + Hn) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dn^2 \times Hn \\ &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dt^2 \times \left(\frac{Dt - Dn}{2 \text{tg } 30} + \frac{Dn}{2 \text{tg } 30} \right) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dn^2 \times \frac{Dn}{2 \text{tg } 30} \\ &= \frac{\pi}{24 \text{tg } 30} (Dt^3 - Dn^3) \end{aligned}$$

Volume tangki = volume shell + volume konis

$$33,58 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3 + \frac{\pi}{24 \text{tg } 30} (Dt^3 - Dn^3)$$

$$33,58 \text{ ft}^3 = 1,1775 \text{ Dt}^3 + 0,23 \text{ Dt}^3 - 0,0081$$

$$\text{Dt} = 3,21 \text{ ft}$$

$$\text{Ht} = 1,5 \text{ Dt} = 1,5 \times 3,21 \text{ ft} = 3,21 \text{ ft}$$

$$\text{Hn} = \frac{\text{Dn}}{2 \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{0,33}{2 \text{tg} 30} = 0,29 \text{ ft}$$

$$\text{Hk} = \frac{\text{Dt}}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - \text{Hn} = \frac{3,21}{2 \text{tg} 30} - 0,29 = 2,49 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi tangki total} = \text{Ht} + \text{Hk} = (3,21 + 2,49) \text{ ft} = 5,7 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume larutan dalam konis} &= \frac{\pi}{24 \text{tg} 30} (\text{Dt}^3 - \text{Dn}^3) \\ &= \frac{\pi}{24 \text{tg} 30} (3,21^3 - 0,33^3) = 7,52 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volume larutan dalam tangki} = \text{volume larutan dalam shell} + \text{volume larutan dalam konis}$$

$$25,83 \text{ ft}^3 = \text{volume larutan dalam shell} + 7,52 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = 18,32 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam shell} = (\pi/4) \times \text{H}_L \times \text{Dt}^2$$

$$18,32 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times \text{H}_L \times (3,21 \text{ ft})^2$$

$$\text{Tinggi larutan dalam shell (H}_L) = 2,26 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi larutan dalam tangki (Zt)} = \text{H}_L + \text{Hk} = (2,26 + 2,49) \text{ ft} = 4,75 \text{ ft}$$

Tekanan operasi tangki

$$\text{Tekanan udara} = 1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psia}$$

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times \text{H}_{\text{bahan}}}{144} = \frac{53,96 \times 4,75}{144} = 1,78 \text{ psia} [28, \text{Eq. 3.17}]$$

$$\text{Tekanan operasi alat} = \text{tekanan udara} + \text{tekanan hidrostatik}$$

$$= (14,70 + 1,78) \text{ psia} = 16,48 \text{ psia}$$

$$\text{P desain} = 1,5 \times \text{P operasi} = 1,5 \times 16,48 \text{ psia} = 24,72 \text{ psia} = 1,68 \text{ atm}$$

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah *stainless steel-316L*

- f_{all} = allowable stress = 23.000 lb/in²
- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, pp.254, tabel 13.2)
- c = corrosion allowance = (1/8) = 0,125 in

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi) = 16,38 psia

D = *inside diameter* (in) = 3,21 ft = 38,56 in

f = *allowable working stress* (psi) = 23000 psia

E = *joint efficiency* = 0,8

c = *corrosion allowance* = 0,125

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{16,38 \text{ psia} \times 38,56 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,15 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup konis

$$\begin{aligned} \text{Tebal konis} &= \frac{P.D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c \\ &= \frac{16,48 \text{ psia} \times 38,56 \text{ in}}{2 \cos 30 \times (23000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 26,98 \text{ psia})} + 0,125 \\ &= 0,15 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama : tangki penampung

Fungsi : untuk menampung pasta mutiara sementara dan menjaga continuitas spray dryer

Bahan konstruksi : *stainless steel*-316L

Kapasitas : 33,58 ft³

Diameter tangki : 3,21 ft

Tinggi shell : 3,21 ft

Tinggi konis : 2,49 ft

Tinggi tangki total : 5,7 ft

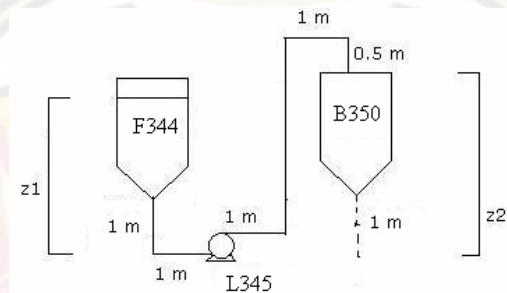
Tebal shell : 3/16 in

Tebal head : 3/16 in

Tebal konis : 3/16 in

Jumlah : 1 buah

68. Pompa L345



Fungsi: mengalirkan pasta mutiara dari tangki penampung F344 ke *spray dryer* B350

Perhitungan:

Pompa bekerja 24 jam

$$\text{Rate volumetrik} = 0,7316 \frac{m^3}{jam} \approx 0,0002 \frac{m^3}{s} \approx 3,22 \text{ gal/min}$$

$$\rho \text{ campuran} = 864,3938 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu \text{ campuran} = 0,14 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$$

Trial : aliran turbulen, sehingga :

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad [30]$$

$$\text{dimana, } Q = \text{debit } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

$$\rho = \text{densitas } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times 0,0001^{0,45} \times 864,3938^{0,13} = 0,0191 \text{ m} \approx 0,7506 \text{ in}$$

Dipilih *steel pipe* (IPS) untuk *comercial steel* berukuran 0,75 in sch 40 :

$$\text{ID} = 20,93 \text{ mm} \approx 0,0209 \text{ m}$$

$$\text{OD} = 26,67 \text{ mm} \approx 0,0267 \text{ m}$$

$$A = 0,0003 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} \approx \frac{0,0002 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,0003 \text{ m}^2} = 0,5906 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Cek Trial :

$$N_{\text{Re}} = \frac{\rho \cdot \text{ID} \cdot v}{\mu} = \frac{76,3157 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,0209 \text{ m} \times 0,5906 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,14 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}} = 76,3157 \text{ (laminar)}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad [21]$$

Perhitungan Friksi :

a. Pipa lurus

$$Ff = \frac{4 \times f \times \Delta L \times v^2}{2 \times ID} \quad [21]$$

Pipa *commercial steel*, $\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$

$$\varepsilon / ID = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,0158} = 0,0022$$

$$Nre = 76,3157$$

Dari Geankoplis (ε / ID vs Nre), diperoleh $f = 0,0049$

$$\Delta L = 13 \text{ m}$$

$$Ff = \frac{4 \times 0,0049 \times 13 \text{ m} \times \left(0,5906 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 0,0209 \text{ m}} = 2,1229 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

b. Sudden contraction

$$hc = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

$$\begin{aligned} hc &= 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} = 0,55 \times \left(1 - \frac{0,0003}{0,0081}\right) \times \frac{\left(0,5906 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 0,5} \\ &= 0,1837 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \end{aligned}$$

c. Sudden enlargement

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

$$h_{ex} = \frac{v^2}{2\alpha} = \frac{\left(0,5906 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 0,5} = 0,3488 \frac{m^2}{s^2}$$

d. Friksi untuk elbow 90°

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 0,75 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,75 \times \frac{\left(0,5906 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 0,1308 \frac{m^2}{s^2}$$

Digunakan 4 elbow 90°

$$hf = 4 \times 0,1308 \frac{m^2}{s^2} = 0,5231 \frac{m^2}{s^2}$$

e. Friksi untuk *Gate valve*

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 0,17 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{(0,5906 m/s)^2}{2} = 0,9749 m^2/s^2$$

$$\text{Friksi Total } (\Sigma F) = 4,1533 m^2/s^2$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{1}{2 \times 1} \left((0,5906 m/s)^2 - (0 m/s)^2 \right) + 9,8 m/s^2 (6,56m - 2,4487m) +$$

$$4,1533 m^2/s^2 + W_s = 0$$

$$-W_s = 44,10 m^2/s^2 = 44,10 j/kg$$

Untuk laju volumetrik air = 3,22 gal/min didapatkan harga efisiensi pompa

$$(\eta) = 20 \% \quad [21]$$

$$\text{brake kW} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 1000} \approx \frac{-w_s \times Q \times \rho}{\eta \times 1000}$$

[21]

$$= \frac{44,10 j/kg \times 0,0002 m^3/s \times 864,3938 kg/m^3}{0,2 \times 1000} = 0,04 kW \approx 0,05 Hp$$

Untuk power pompa 0,04 kW didapat harga efisiensi motor = 75% [30]

$$\text{Sehingga dipakai pompa dengan motor} = \frac{100}{75} \times 0,05 Hp = 0,07 Hp = 0,13 Hp$$

69. Spray Dryer (B350)

Fungsi : Untuk mengeringkan mutiara pekat menjadi mutiara bubuk
Tipe : Bejana silinder dengan bagian bawah berbentuk konis dan tutup atas berbentuk *dished head*

Kapasitas : 126,47 kg/jam

Kondisi operasi :

- Tekanan operasi = 1 atm = 101,325 kPa
- Temperatur bahan masuk = 120°C
- Temperatur udara panas masuk = 125°C

Laju pengeringan 33,90 kg air/jam

Berdasarkan laju pengeringan dan suhu udara masuk dipilih :

Volume *chamber* = 1.000 ft³ [34, Fig. 20-72]

Diameter = 12,00 ft = 3,66 m [34, Fig. 20-72]

Tinggi *shell*, Hs = 0,4 x D = 4,80 ft = 1,46 m [34, Fig. 20-72]

Volume silinder = $\pi/4 \times D^2 \times Hs = \pi/4 \times (12,00 \text{ ft})^2 \times (4,80 \text{ ft}) = 542,59 \text{ ft}^3$

Volume konis = volume *chamber* – volume silinder

$$= 1.000 \text{ ft}^3 - 542,59 \text{ ft}^3$$

$$= 457,41 \text{ ft}^3$$

M = 12 in = 1 ft (35, pg 85)

Volume konis = $1/3 \times \pi/4 \times hc \times (D^2 + DM + M^2)$

$$457,41 = 1/3 \times \pi/4 \times hc \times (12,00^2 + 12,00 \times 1 + 1^2)$$

$$hc = 11,13 \text{ ft} = 3,39 \text{ m}$$

Untuk shell, tutup bagian atas, dan bawah dipilih bahan konstruksi *stainless steel-316 L* :

- $f_{all} = \text{allowable stress} = 23.000 \text{ lb/in}^2$

- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, p.254, tabel 13.2)
- ID = diameter shell = 3,66 m = 144,00 in
- $r_i = \frac{ID}{2} = 72,00 \text{ in}$
- P = 14,7 psia
- c = Corrosion allowance = 0,125 in

Tebal shell

$$t_s = \frac{P \times r_i}{f_{all} \times E - 0,6 \times P}$$

$$t_s = \frac{14,7 \text{ psia} \times 72,00 \text{ in}}{23000 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times 0,80 - 0,6 \times 14,7 \text{ psia}} = 0,06 \text{ in} \approx \frac{1}{16} \text{ in}$$

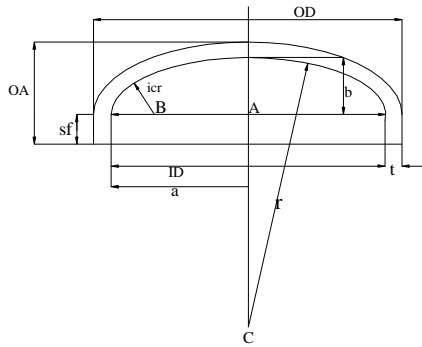
Tebal konis

Untuk ½ sudut puncak (α) tidak lebih besar dari 30° digunakan persamaan 6.154, p.118, 28.

$$t_c = \frac{P \times ID}{2 \times \cos \alpha \times (f_{all} \times E - 0,6 \times P)} + c$$

$$t_c = \frac{14,7 \text{ psia} \times 144,00 \text{ in}}{2 \times \cos 30^\circ \times (23000 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times 0,80 - 0,6 \times 14,7 \text{ psia})} = 0,50 \text{ in} \approx \frac{8}{16} \text{ in}$$

Tebal Dished Head



r (crown radius / radius of dish) = 144,00 in

icr (inside corner radius / knuckle radius) = 6% x 144,00 in = 8,64 in

$$W = \frac{1}{4} \times \left[3 + \sqrt{\frac{r}{icr}} \right] \quad [28, \text{pers 7.76}]$$

$$= \frac{1}{4} \times \left[3 + \sqrt{\frac{144,00}{8,64}} \right]$$

$$= 1,77$$

$$a = \frac{ID}{2} = \frac{144,00 \text{ in}}{2} = 72,00 \text{ in}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr = \frac{144,00 \text{ in}}{2} - 8,64 \text{ in} = 63,36 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = (144,00 - 8,64) \text{ in} = 135,36 \text{ in}$$

$$b = r - \sqrt{BC^2 - AB^2} = 144,00 - \sqrt{135,36^2 - 63,36^2} = 24,38 \text{ in}$$

$$t_d = \frac{P \times r \times W}{2 \times f \times E - 0,2 \times P} + c \quad [28, \text{pers 7.77, p.138}]$$

$$t_d = \frac{14,7 \text{ psia} \times 144,00 \text{ in} \times 1,77}{2 \times 23000 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times 0,8 - 0,2 \times 14,7 \text{ psia}} + 0,125$$

$$= 0,23 \text{ in} \approx \frac{4}{16} \text{ in}$$

Dipilih panjang straight-flange (sf) = 3 in [28, tabel 5.8, hal.93]

$$OA = t_d + b + sf$$

$$= \left(\frac{4}{16} + 24,38 + 3 \right) \text{ in}$$

$$= 27,63 \text{ in} = 2,30 \text{ ft} = 0,70 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi total} = H_s + h_c + OA = 1,46 \text{ m} + 3,39 \text{ m} + 0,70 \text{ m} = 5,56 \text{ m} = 18,24 \text{ ft}$$

Spesifikasi :

Kapasitas : 126,47 kg/jam

Diameter : 12,00 ft

Tinggi sprat dryer total : 18,24 ft

Tebal shell : $0,06 \text{ in} \approx \frac{1}{16} \text{ in}$

Tebal tutup bawah (konis) : $0,50 \text{ in} \approx \frac{8}{16} \text{ in}$

Tebal tutup atas (dished head) : $0,23 \text{ in} \approx \frac{4}{16} \text{ in}$

Bahan konstruksi : *Stainless steel-316 L*

Jumlah spray dryer : 1 buah

Atomizer

Jenis : *Centrifugal dish*

Menentukan putaran centrifugal dish :

$$\frac{D_{vs}}{r} = 0,4 \left[\frac{\Gamma}{\rho_L \times N \times r^2} \right]^{0,6} \left[\frac{\mu}{\Gamma} \right]^{0,2} \left[\frac{\alpha \times \rho_L \times Lw}{\Gamma^2} \right]^{0,1} \quad [36, \text{ pers.12-65}]$$

$$D_{vs} = \text{diameter semprotan rata-rata} = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,0005 \text{ ft}$$

$$D_i = \text{diameter dish} = 0,35 \text{ m} = 1,15 \text{ ft}$$

$$r = \text{jari-jari dish} = 0,57 \text{ ft}$$

Γ = kecepatan massa semprotan dari wetted dish peripheral, lb/min.ft

ρ_L = densitas mutiara pekat = $876,38 \text{ kg/m}^3 = 0,88 \text{ gr/cm}^3 = 54,71 \text{ lb/ft}^3$

N = putaran dish, rpm

μ = viskositas teh pekat = $5,64 \text{ lb/ft min}$

α = liquid retention, lb/min^2

L_w = wetted dish peripheral = $\pi \cdot d_i = 3,61 \text{ ft}$

Massa feed masuk = $126,47 \text{ kg/jam} = 278,81 \text{ lb/jam}$

$$\Gamma = \frac{\text{massa feed masuk}}{L_w} = \frac{278,81 \text{ lb/jam}}{3,61 \text{ ft} \times 60 \text{ menit/jam}} = 1,29 \text{ lb/min.ft}$$

$$\alpha^{(1/4)} = R \times \rho_L \quad [36, \text{pers.12-66}]$$

R = komponen paarachor = 271,7

ρ_L = densitas mutiara pekat, mol/cm^3

α = liquid retention, dyne

Komponen :

	BM	massa	fraksi	BM.fraksi
Pasta Mutiara:				
Gula pasir	342.30	40.80	0.3226	110.42
karbohidrat	180.00	47.98	0.3794	68.29
air	18.00	36.68	0.2900	5.22

abu	40.00	0.14	0.0011	0.04
protein	89.10	0.60	0.0047	0.42
lemak	296.48	0.27	0.0022	0.64
Jumlah		126.47	1.0000	185.03

$$BM_{\text{campuran}} = 185,03 \text{ gr/mol}$$

$$\rho_L = \frac{0,88 \text{ gr/cm}^3}{185,03 \text{ gr/mol}} = 0,0047 \text{ mol/cm}^3$$

$$\alpha^{(1/4)} = R \times \rho_L = 271,7 \times 0,0047 = 1,29$$

$$\alpha = 2,74 \text{ dyne/cm} = 2,74 \text{ gr/s}^2 = 21,77 \text{ lb/min}^2$$

$$\frac{0,0005}{0,57} = 0,4 \left[\frac{1,29}{54,71 \times N \times 0,57^2} \right]^{0,6} \left[\frac{5,64}{1,29} \right]^{0,2} \left[\frac{21,77 \times 54,71 \times 3,61}{1,29^2} \right]^{0,1}$$

$$N = 12.577,77 \text{ rpm} \approx 12.578 \text{ rpm}$$

Menghitung power yang dibutuhkan :

$$P = 1,04 \cdot 10^{-8} \times (r \times N)^2 \times W$$

Dimana,

P = netto horse power

r = jari – jari dish

N = putaran dish = 12.578 rpm

W = kecepatan feed = 4,65 lb/min

$$P = 1,04 \cdot 10^{-8} \times (0,57 \times 3.242)^2 \times 4,65$$

$$P = 2,52 \text{ hp} \approx 3 \text{ hp}$$

70. Barometric condensor (G358)

Fungsi : Mengkondensasikan uap dari spray dryer mutiara

Tipe : counter flow Barometric Condensor

Dasar pemilihan : konstruksi lebih murah dan luas permukaan kontak lebih besar

Perhitungan :

Rate uap pada 90°C (194°F) (v) = 33,88 kg/jam

λ uap pada 194°F (λ) = 2660,1 – 376,92 = 2283,18 kJ/kg [21, App. A.2-9]

$$Q = v \cdot \lambda = 33,88 \text{ kg/jam} \times 2283,18 \text{ kJ/kg} = 77.347,23 \text{ kJ/jam} \\ = 73.310,74 \text{ Btu/jam}$$

Kebutuhan air pendingin

$$W \text{ (gpm)} = \frac{Q}{500(T_s - t_w - t_a)} \quad [29, \text{pers 14.4, pp. 396}]$$

Dimana :

T_s = suhu uap jenuh = 194°F

t_w = suhu air pendingin = 30°C = 86°F

t_a = derajat pendekatan terhadap T_s

untuk counter flow barometric condensor, $t_a = 5^\circ\text{F}$ [29, pp. 397]

$$W = \frac{73.310,74 \text{ btu/jam}}{500(194 - 86 - 5)^\circ\text{F}} = 1,42 \text{ gpm}$$

Spesifikasi :

Tipe = counter flow barometric condensor

Rate uap = 33,88 kg/jam

Kebutuhan air pendingin = 1,42 gpm

Bahan = *Stainless steel* 316L

Jumlah = 1 buah

71. Bak baromatic condenser (F359)

Fungsi : untuk menampung kondensasi uap air *barometric condenser*

Penghitungan :

Uap air yang menuju ke *barometric condenser* sebesar 33,88 kg/jam. Bak *barometric* dirancang untuk kapasitas 1 hari. Banyak air yang ditampung dalam 1 hari sebesar 0,82 m³.

Dengan asumsi Volume air = 80% volume bak

$$\text{Volume bak} = 100/80 \cdot 0,82 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume bak} = 1,02 \text{ m}^3$$

Diinginkan ukuran bak (p:l:t) = 1:1:3

$$\text{Volume bak} = p \times l \times t$$

$$1,02 \text{ m}^3 = 1x \cdot 1x \cdot 3x$$

$$X = 0,7 \text{ m}$$

$$\text{Ukuran bak : } p = 1x = 1 \times 0,7 \text{ m} = 0,7 \text{ m}$$

$$l = 1x = 1 \times 0,7 \text{ m} = 0,7 \text{ m}$$

$$t = 3x = 3 \times 0,7 \text{ m} = 2,1 \text{ m}$$

72. Screening (H352)

Fungsi: untuk menyeragamkan ukuran mutiara bubuk

Tipe: electrical vibrating screen

Dasar pemilihan: bisa digunakan untuk padatan dengan ukuran ≤ 400 mesh

Kondisi operasi: 30°C, P= 1 atm

Kapasitas: 92,59 kg/jam = 0,0926 ton/jam

Perancangan:

Menghitung luas ayakan

$$A = \frac{0,4 \times C_t}{C_u \times F_{OA} \times F_s} \quad [36, \text{pers 19-7}]$$

Dengan:

A = luas ayakan (ft²)

C_t = kapasitas (ton/jam) = 0,0926 ton/jam

C_u = kapasitas unit (ton/jam.ft²) = 1 ton/jam.ft² [36, fig.19-21]

F_s = factor slot area = 1 [36, table 19-7]

$$F_{OA} = \text{faktor bukaan area} = 100 \times \left[\frac{a}{a+d} \right]^2$$

Dimana: a = bukaan bersih = 0,8 in; d = diameter kawat = 0,7 in

Sehingga:

$$F_{OA} = 100 \times \left[\frac{0,8}{0,8+0,7} \right]^2 = 28,44$$

$$\text{Luas ayakan (A)} = \frac{0,4 \times C_t}{C_u \times F_{OA} \times F_s} = \frac{0,4 \times 0,0926}{1 \times 28,44 \times 1} = 0,0013 \text{ ft}^2$$

Menurut Peter & Timmerhaus ed 3 [30], dari grafik 13-89 dipilih ayakan dengan ukuran 1 x 3 ft

Spesifikasi:

Tipe: electrical vibrating screen

Kapasitas: 92,59 kg/jam

Ukuran ayakan: 1 x 3 ft

73. Apron Conveyor (J-355)

Fungsi : mengangkut mutiara bubuk dari proses screen ke tangki penampung (F354)

Tipe : apron conveyor dilengkapi dengan penutup berbentuk setengah lingkaran.

Dasar pemilihan : untuk transport material berbentuk bubuk

Perhitungan :

Kapasitas = 87,96 kg/jam

Dari [27] :

Panjang apron : 2 meter

Lebar apron : 0,3 meter

Sudut kemiringan : 45°

Tinggi penutup : 0,3 meter

Power : 0,5 hp

Material : stainless steel

Jumlah : 1 buah

74. Hammer Mill (C353)

Fungsi: menghancurkan mutiara bubuk yang keluar dari spray dryer dan cyclone yang ukurannya belum sesuai dengan yang diinginkan.

Tipe: Hammer mill

Dasar pemilihan: untuk menghancurkan material dalam industri makanan dan menghasilkan butiran sampai dengan ukuran 0,00039 in.

Kapasitas: 4,63 kg/jam = 0,00463 ton/jam

Dari 36, table 20-14 mendapatkan:

Dimensi rotor = 30x30 in

Ukuran maximum feed = 2 ½ in

Kecepatan maximum = 1200 rpm

Power = 100 hp

Jumlah = 1

75. Apron Conveyor (J-357)

Fungsi : mengangkut mutiara bubuk dari hammermill ke mixer (M342)

Tipe : apron conveyor dilengkapi dengan penutup berbentuk setengah lingkaran.

Dasar pemilihan : untuk transport material berbentuk bubuk

Perhitungan :

Kapasitas = 15,81 kg/jam

Dari [27] :

Panjang apron : 2 meter

Lebar apron : 0,3 meter

Sudut kemiringan : 45°

Tinggi penutup : 0,3 meter

Power : 0,5 hp

Material : stainless steel

Jumlah : 1 buah

76. Tangki Penampung (F354)

Fungsi : untuk menampung mutiara bubuk sementara

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis

Dasar pemilihan : cocok untuk menampung padatan

Kondisi operasi : $T = 30^{\circ}\text{C}$

$$\rho \text{ mutiara bubuk} = 405 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Massa mutiara bubuk = 87,96 kg

$$\text{Volume mutiara bubuk total} = \frac{87,96 \text{ kg}}{405 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,11 \text{ m}^3 = 3,83 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume mutiara bubuk total, sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki penampung} &= 1,3 \text{ volume mutiara bubuk} \\ &= 1,3 \times 3,83 \text{ ft}^3 = 4,99 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Ditetapkan : tinggi shell (H_t) = 1,5 diameter shell (D_t) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^{\circ} [28]$$

Diameter nozzle (D_n) yang digunakan 4 inchi = 0,33 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times D_t^2 \times H_t = (\pi/4) \times 1,5 \times D_t^3$$

H_n = tinggi nozzle; H_k = tinggi konis

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } \alpha} \text{ dan } H_k = \frac{D_t}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - H_n = \frac{D_t}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{D_t - D_n}{2 \cdot \text{tg } \alpha}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_t^2 \times (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times H_n \\ &= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_t^2 \times \left(\frac{D_t - D_n}{2 \cdot \text{tg } 30} + \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } 30} \right) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times \frac{D_n}{2 \cdot \text{tg } 30} \\ &= \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg } 30} (D_t^3 - D_n^3) \end{aligned}$$

Volume tangki = volume *shell* + volume konis

$$4,99 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3 + \frac{\pi}{24 \tan 30} (Dt^3 - Dn^3)$$

$$4,99 \text{ ft}^3 = 1,1775 Dt^3 + 0,23 Dt^3 - 0,0081$$

$$Dt = 1,53 \text{ ft}$$

$$Ht = 1,5 Dt = 1,5 \times 1,53 \text{ ft} = 2,29 \text{ ft}$$

$$Hn = \frac{Dn}{2 \tan \alpha} = \frac{0,33}{2 \tan 30} = 0,29 \text{ ft}$$

$$Hk = \frac{Dt}{2 \tan \alpha} - Hn = \frac{1,53}{2 \tan 30} - 0,29 = 1,03 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi tangki total} = Ht + Hk = (2,29 + 1,03) \text{ ft} = 3,32 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume larutan dalam konis} &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (Dt^3 - Dn^3) \\ &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (1,53^3 - 0,33^3) = 0,8 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Volume larutan dalam tangki = volume larutan dalam *shell* + volume larutan dalam konis

$$3,83 \text{ ft}^3 = \text{volume larutan dalam } shell + 0,8 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam } shell = 3,04 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume larutan dalam } shell = (\pi/4) \times H_L \times Dt^2$$

$$3,04 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (1,53 \text{ ft})^2$$

$$\text{Tinggi larutan dalam shell } (H_L) = 1,66 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi larutan dalam tangki } (Z_t) = H_L + Hk = (1,66 + 1,03) \text{ ft} = 2,69 \text{ ft}$$

Tekanan operasi tangki

$$\text{Tekanan udara} = 1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psia}$$

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{52,41 \times 2,05}{144} = 0,75 \text{ psia} [28, \text{Eq. 3.17}]$$

Tekanan operasi alat = tekanan udara + tekanan hidrostatik

$$= (14,70 + 0,75) \text{ psia} = 15,44 \text{ psia}$$

$$P_{\text{desain}} = 1,5 \times P_{\text{operasi}} = 1,5 \times 15,44 \text{ psia} = 23,17 \text{ psia} = 1,58 \text{ atm}$$

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah *stainless steel-316L*

- f_{all} = allowable stress = 23.000 lb/in²
- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, p.254, tabel 13.2)
- c = corrosion allowance = (1/8) = 0,125 in

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : t_s = thickness of shell (in)

P = internal design pressure (psi) = 23,17 psia

D = inside diameter (in) = 1,53 ft = 18,32 in

f = allowable working stress (psi) = 23000 psia

E = joint efficiency = 0,8

c = corrosion allowance = 0,125

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{23,17 \text{ psia} \times 18,32 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,14 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup konis

$$\text{Tebal konis} = \frac{P.D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c$$

$$= \frac{23,17 \text{ psia} \times 18,32 \text{ in}}{2 \cos 30 (23000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 23,17 \text{ psia})} + 0,125$$

$$= 0,14 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Spesifikasi alat :

Nama	: tangki penampung
Fungsi	: untuk menampung mutiara bubuk sementara
Bahan konstruksi	: <i>stainless steel-316L</i>
Kapasitas	: 4,99 ft ³
Diameter tangki	: 1,53 ft
Tinggi shell	: 2,29 ft
Tinggi konis	: 1,03 ft
Tinggi tangki total	: 3,32 ft
Tebal shell	: 3/16 in
Tebal head	: 3/16 in
Tebal konis	: 3/16 in
Jumlah	: 1 buah

77. Tangki Mixer (M342)

Fungsi : untuk mencampur mutiara bubuk dengan air

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis yang dilengkapi dengan pengaduk

Dasar pemilihan : cocok untuk menampung bahan berbentuk pasta

Kondisi operasi : T = 30°C

$$\rho_{\text{air}} = 995,68 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{tapioca starch}} = 600,00 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{gula pasir}} = 1.580,00 \text{ kg/m}^3$$

Perhitungan :

Pasta Mutiara terdiri dari:

Massa gula pasir = 5,10 kg

Massa tapioca starch = 6,12 kg

Massa air = 4,59 kg

$$\text{Fraksi gula pasir} = \frac{5,10}{5,10 + 6,12 + 4,59} = 0,32$$

$$\text{Fraksi tapioca starch} = \frac{6,12}{5,10 + 6,12 + 4,59} = 0,39$$

$$\text{Fraksi air} = \frac{4,59}{5,10 + 6,12 + 4,59} = 0,29$$

$$\rho \text{ pasta mutiara} = \frac{1}{\left[\frac{0,32}{1580} + \frac{0,39}{600} + \frac{0,29}{995,68} \right]} = 876,38 \text{ kg/m}^3 = 54,71 \text{ lbm/ft}^3$$

Massa pasta mutiara = 15,81 kg

$$\text{Volume pasta mutiara total} = \frac{15,81 \text{ kg}}{876,38 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,02 \text{ m}^3 = 0,64 \text{ ft}^3$$

Direncanakan volume tangki penampung = 1,3 volume pasta mutiara total, sehingga:

Volume tangki penampung = 1,3 volume pasta mutiara

$$= 1,3 \times 0,64 \text{ ft}^3 = 0,83 \text{ ft}^3$$

Ditetapkan : tinggi shell (Ht) = 1,5 diameter shell (Dt) [28]

Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga,

$$\alpha \text{ (sudut konis)} = 30^\circ \text{ [28]}$$

Diameter nozzle (Dn) yang digunakan 4 inchi = 0,33 ft

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \times Dt^2 \times Ht = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3$$

Hn = tinggi nozzle; Hk = tinggi konis

$$Hn = \frac{Dn}{2 \cdot \tan \alpha} \text{ dan } Hk = \frac{Dt}{2 \cdot \tan \alpha} - Hn = \frac{Dt}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{Dn}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{Dt - Dn}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume konis} &= \frac{1}{3} \pi x Dt^2 x (Hk + Hn) - \frac{1}{3} \pi x Dn^2 x Hn \\ &= \frac{1}{3} \pi x Dt^2 x \left(\frac{Dt - Dn}{2 \tan 30} + \frac{Dn}{2 \tan 30} \right) - \frac{1}{3} \pi x Dn^2 x \frac{Dn}{2 \tan 30} \\ &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (Dt^3 - Dn^3) \end{aligned}$$

Volume tangki = volume *shell* + volume konis

$$0,83 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times 1,5 \times Dt^3 + \frac{\pi}{24 \tan 30} (Dt^3 - Dn^3)$$

$$0,83 \text{ ft}^3 = 1,1775 Dt^3 + 0,23 Dt^3 - 0,0081$$

$$Dt = 0,94 \text{ ft}$$

$$Ht = Dt = 0,86 \text{ ft}$$

$$Hn = \frac{Dn}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{0,33}{2 \tan 30} = 0,29 \text{ ft}$$

$$Hk = \frac{Dt}{2 \cdot \tan \alpha} - Hn = \frac{0,94}{2 \tan 30} - 0,29 = 0,52 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi tangki total} = Ht + Hk = (0,94 + 0,52) \text{ ft} = 1,46 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume larutan dalam konis} &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (Dt^3 - Dn^3) \\ &= \frac{\pi}{24 \tan 30} (0,94^3 - 0,33^3) = 0,18 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Volume larutan dalam tangki = volume larutan dalam *shell* + volume larutan dalam konis

$$0,64 \text{ ft}^3 = \text{volume larutan dalam } shell + 0,18 \text{ ft}^3$$

Volume larutan dalam *shell* = $0,46 \text{ ft}^3$

Volume larutan dalam *shell* = $(\pi/4) \times H_L \times D^2$

$$0,46 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times H_L \times (0,94 \text{ ft})^2$$

Tinggi larutan dalam shell (H_L) = 0,66 ft

Tinggi larutan dalam tangki (Z_t) = $H_L + H_k = (0,66 + 0,52) \text{ ft} = 1,19 \text{ ft}$

Tekanan operasi tangki

Tekanan udara = 1 atm = 14,70 psia

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho_{\text{bahan}} \times H_{\text{bahan}}}{144} = \frac{54,71 \times 1,19}{144} = 0,45 \text{ psia [28, Eq. 3.17]}$$

Tekanan operasi alat = tekanan udara + tekanan hidrostatik

$$= (14,70 + 0,45) \text{ psia} = 15,15 \text{ psia}$$

P desain = $1,5 \times P \text{ operasi} = 1,5 \times 15,15 \text{ psia} = 22,72 \text{ psia} = 1,55 \text{ atm}$

Tebal tangki dan tutup atas tangki

Ditetapkan : bahan konstruksi adalah *stainless steel-316L*

- f_{all} = allowable stress = 23.000 lb/in²
- E = efisiensi sambungan = 0,8 (double welded butt joint, 28, p.254, tabel 13.2)
- c = corrosion allowance = (1/8) = 0,125 in

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$

dimana : t_s = thickness of shell (in)

P = internal design pressure (psi) = 22,72 psia

D = inside diameter (in) = 0,94 ft = 11,27 in

f = allowable working stress (psi) = 23000 psia

E = joint efficiency = 0,8

$c = \text{corrosion allowance} = 0,125$

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c = \frac{22,72 \text{ psia} \times 11,27 \text{ in}}{2 \times 23000 \text{ psia} \times 0,8} + 0,125 = 0,13 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup konis

$$\begin{aligned} \text{Tebal konis} &= \frac{P \cdot D}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} + c \\ &= \frac{22,72 \text{ psia} \times 11,27 \text{ in}}{2 \cos 30 (23000 \text{ psia} \times 0,8 - 0,6 \times 22,72 \text{ psia})} + 0,125 \\ &= 0,13 \text{ in} \rightarrow \text{standarisasi } 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama	: tangki mixer
Fungsi	: untuk mencampur mutiara bubuk dengan air
Bahan konstruksi	: <i>stainless steel</i> -316L
Kapasitas	: 0,83 ft ³
Diameter tangki	: 0,94 ft
Tinggi shell	: 0,94 ft
Tinggi konis	: 0,52 ft
Tinggi tangki total	: 1,46 ft
Tebal shell	: 3/16 in
Tebal head	: 3/16 in
Tebal konis	: 3/16 in
Jumlah	: 1 buah

Agitator M342

Ditetapkan:

1. Jenis agitator yang digunakan adalah *four blade paddle agitator*.

μ campuran = 0,0015 kg/m.s atau Pa.s

2. Bahan konstruksi *Stainless steel – 316L*

Dari Tabel 3.4-1 [21, p.158] diperoleh :

$$\frac{D_a}{D_t} = 0,6-0,8 \quad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \quad \frac{H}{D_t} = 1$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \quad \frac{C}{D_t} = \frac{1}{3} \quad \frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$$

Dimana: D_a = diameter pengaduk

D_t = diameter tangki

W = lebar *blade*

H = tinggi cairan dalam tangki

L = panjang *blade*

C = jarak pengaduk dari dasar tangki

J = lebar *baffle*

Sehingga didapatkan :

1. Diameter pengaduk (D_a)

$$\frac{D_a}{D_t} = 0,7 \rightarrow D_a = 0,7 D_t = 0,7 \cdot 0,29 \text{ m} = 0,20 \text{ m}$$

2. Lebar *blade* (W)

$$\frac{W}{D_a} = 0,2 \rightarrow W = 0,2 D_a = 0,2 \cdot 0,2 \text{ m} = 0,04 \text{ m}$$

3. Panjang *blade* (L)

$$\frac{L}{D_a} = 0,25 \rightarrow L = 0,25 D_a = 0,25 \cdot 0,20 \text{ m} = 0,05 \text{ m}$$

4. Jarak pengaduk dari dasar tangki (C)

$$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3} \rightarrow C = \frac{1}{3} D_t = \frac{1}{3} \cdot 0,29 \text{ m} = 0,1 \text{ m}$$

5. Lebar *buffle* (J)

$$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \rightarrow J = \frac{1}{12} \cdot D_t = \frac{1}{12} \cdot 0,29 \text{ m} = 0,02 \text{ m}$$

Perhitungan kecepatan pengadukan :

Syarat :

- Kecepatan agitator (N) antara 20 – 150 rpm [31, p.238]

$$N = 50 \text{ rpm} = 0,83 \text{ rps}$$

Power yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan [21, p.158]:

$$N_{Re} = \frac{\rho \times N \times Da^2}{\mu}$$

Dimana: Da = diameter pengaduk (m)

N = kecepatan putaran pengaduk (rps)

ρ = densitas (kg/m^3)

μ = viskositas ($\text{kg}/\text{m.s}$)

$$N_{Re} = \frac{839,55 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 0,83 \text{ rps} \times (0,2 \text{ m})^2}{0,0015 \text{ kg}/\text{m.s}} = 18.738,41 \rightarrow \text{Turbulen}$$

Nilai N_p dapat dicari dari literatur [21, Fig. 3.4-5]

untuk nilai $N_{Re} = 18.738,41$ dan untuk jenis *four blade paddle agitator* maka:

$$\begin{aligned} N_p &= 215 \times (N_{Re})^{-0,955} \\ &= 215 \times (18.738,41)^{-0,955} \\ &= 0,01786 \end{aligned}$$

$$P = N_p \times \rho \times N^3 \times Da^5 \quad [21, p.159]$$

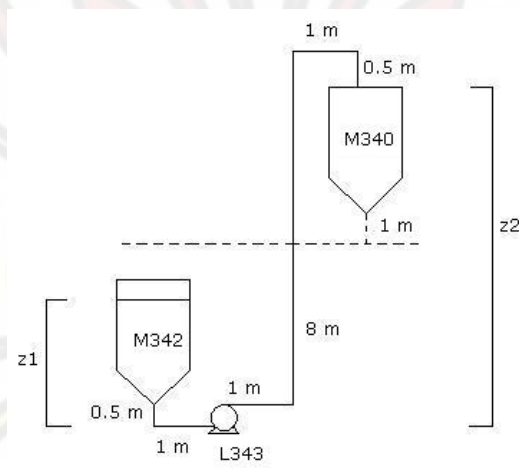
$$P = 0,01786 \times 839,55 \text{ kg/m}^3 \times (0,83)^3 \times (0,2 \text{ m})^5$$

$$P = 0,0028 \text{ W} = 0,0000038 \text{ Hp}$$

Effisiensi motor = 80%

$$P = \frac{0,0000038 \text{ hp}}{0,8} \times 2 = 0,00001 \text{ Hp} \approx 0,5 \text{ Hp}$$

78. Pompa L343



Fungsi: mengalirkan larutan mutiara dari tangki *mixing* M342 ke tangki *mixing* M340

Perhitungan:

Pompa bekerja 15 menit/batch

$$\text{Rate volumetrik} = 0,018 \text{ m}^3/\text{batch} \approx 0,00002 \text{ m}^3/\text{s} \approx 0,31 \text{ gal/min}$$

$$\rho \text{ campuran} = 876,38 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu \text{ campuran} = 0,0015 \text{ kg/m.s}$$

Trial : aliran turbulen, sehingga :

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad [30]$$

dimana, Q = debit ($\frac{m^3}{s}$)

ρ = densitas ($\frac{kg}{m^3}$)

$$D_{i \text{ opt}} = 0,363 \times 0,00002^{0,45} \times 876,38^{0,13} = 0,0067 \text{ m} \approx 0,2652 \text{ in}$$

Dipilih *steel pipe* (IPS) untuk *comercial steel* berukuran 1/8 in sch 40 :

$$ID = 6,83 \text{ mm} \approx 0,0068 \text{ m}$$

$$OD = 10,29 \text{ mm} \approx 0,0103 \text{ m}$$

$$A = 0,000037 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} \approx \frac{0,00002 \frac{m^3}{s}}{0,000037 \text{ m}^2} = 0,5471 \frac{m}{s}$$

Cek Trial :

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{876,38 \frac{kg}{m^3} \times 0,0068 \text{ m} \times 0,5471 \frac{m}{s}}{0,0015 \frac{kg}{m \cdot s}} = 2.183,3427 \text{ (laminar)}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad [21]$$

Perhitungan Friksi :

a. Pipa lurus

$$Ff = \frac{4 \times f \times \Delta L \times v^2}{2 \times ID} \quad [21]$$

Pipa *commercial steel*, $\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m}$

$$\varepsilon / ID = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,0068} = 0,0067$$

$$Nre = 2.183,3427$$

Dari Geankoplis (ε / ID vs Nre), diperoleh $f = 0,01$

$$\Delta L = 14,87 \text{ m}$$

$$Ff = \frac{4 \times 0,01 \times 14,87 \text{ m} \times \left(0,5471 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 0,0068 \text{ m}} = 13,0289 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

b. Sudden contraction

$$hc = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

Karena $A_1 \gg A_2$ maka (A_2/A_1) diabaikan

$$hc = 0,55 \times \frac{v^2}{2\alpha} = 0,55 \times \frac{\left(0,5471 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 0,5} = 0,1646 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

c. Sudden enlargement

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} \quad [21]$$

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Turbulen = 1 dan Laminer = $\frac{1}{2}$)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

$$h_{ex} = \frac{v^2}{2\alpha} = \frac{\left(0,5471 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 0,5} = 0,2994 \frac{m^2}{s^2}$$

d. Friksi untuk elbow 90°

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 0,75 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,75 \times \frac{\left(0,5471 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 0,1123 \frac{m^2}{s^2}$$

Digunakan 4 elbow 90°

$$hf = 4 \times 0,1123 \frac{m^2}{s^2} = 0,4490 \frac{m^2}{s^2}$$

e. Friksi untuk *Gate valve*

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \quad [21]$$

$$Kf = 0,17 \text{ (konstanta)} \quad [21]$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} = 0,17 \times \frac{\left(0,5471 \frac{m}{s}\right)^2}{2} = 1,1357 \frac{m^2}{s^2}$$

$$\text{Friksi Total } (\Sigma F) = 15,0777 \frac{m^2}{s^2}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha}(v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{1}{2 \times 1} \left((0,5471 \text{ m/s})^2 - (0 \text{ m/s})^2 \right) + 9,8 \text{ m/s}^2 (10,3628 \text{ m} - 0,8612 \text{ m}) +$$

$$15,0777 \text{ m}^2/\text{s}^2 + W_s = 0$$

$$-W_s = 107,81 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 107,81 \text{ J/kg}$$

Untuk laju volumetrik air = 0,32 gal/min didapatkan harga efisiensi pompa

$$(\eta) = 15 \% \quad [21]$$

$$\text{brake kW} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 1000} \approx \frac{-w_s \times Q \times \rho}{\eta \times 1000}$$

[21]

$$= \frac{107,81 \text{ J/kg} \times 0,00002 \text{ m}^3/\text{s} \times 876,3833 \text{ kg/m}^3}{0,15 \times 1000} = 0,01 \text{ kW} \approx 0,017 \text{ Hp}$$

Untuk power pompa 1,6 kW didapat harga efisiensi motor = 75% [30]

$$\text{Sehingga dipakai pompa dengan motor} = \frac{100}{75} \times 0,017 \text{ Hp} = 0,02 \text{ Hp} \approx 0,13 \text{ Hp}$$

79. Apron Conveyor (J-356)

Fungsi : mengangkut mutiara bubuk dari tangki penampung (F354) ke packaging (X360)

Tipe : apron conveyor dilengkapi dengan penutup berbentuk setengah lingkaran.

Dasar pemilihan : untuk transport material berbentuk bubuk

Perhitungan :

Kapasitas = 87,96 kg/jam

Dari [27] :

Panjang apron : 2 meter

Lebar apron : 0,3 meter

Sudut kemiringan : 45°

Tinggi penutup : 0,3 meter

Power : 0,5 hp

Material : stainless steel

Jumlah : 1 buah

80. Conveyor (J-261)

Fungsi : mengangkut teh dan susu bubuk dari packaging (X260) ke packaging (X370)

Tipe : belt yang terbuat dari karet

Dasar pemilihan : cocok untuk mengangkut material dalam kapasitas besar, *maintenance* murah dan mudah

Ditetapkan :

Panjang belt = 3,5 m

Waktu operasi = 24 jam

Perhitungan :

Sudut elevasi = 0°

Kapasitas = $740,74 \text{ kg/jam} = 0,74074 \text{ ton/jam}$

Dari [36] table 21-7 untuk mengangkut bahan dengan kapasitas 740,74 kg/jam didapatkan:

- lebar belt = 35 cm
- Kecepatan = 30,5 m/menit
- Kapasitas = 32 ton/jam
- Hp/100 ft = 0,44 hp

$$\text{Kecepatan belt} = (0,74074/32) \times 30,5 \text{ m/menit} = 0,71 \text{ m/menit}$$

Power :

Untuk panjang belt 3,5 m:

$$\text{Hp untuk 100 ft} = (0,74074/32) \times 0,44 \text{ hp} = 0,01 \text{ hp}$$

$$\text{Hp untuk 3,5 m} = (3,5 \times 3,2808)/100 \times 0,01 \text{ hp} = 0,001 \text{ hp}$$

$$\text{Efisiensi} = 80\%$$

$$\text{Power yang diperlukan} = (100\%/80\%) \times 0,001 \text{ hp} = 0,001 \text{ hp} \approx 0,5 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

Nama alat : Belt conveyor

Kapasitas : 740,74 kg/jam

Panjang : 3,5 m

Lebar : 0,35 m

Sudut elevasi : 0°

Bahan : karet

Power : 0,5 hp

Jumlah : 1 buah

81. Packaging Mutiara Bubuk (X360)

Fungsi : untuk mengemas produk yang berupa bubuk

Ukuran kemasan: min. 100 x 100 mm

max. 160 x 250 mm

Kecepatan : 40 – 80 bungkus / menit

Power : 0,75 hp

Dimensi (p x l x t) : 950 x 690 x 1830 mm

Berat : 266 kg

Jumlah: 1 buah

82. Conveyor (J-361)

Fungsi : mengangkut mutiara bubuk dari packaging (X360) ke packaging (X370)

Tipe : belt yang terbuat dari karet

Dasar pemilihan : cocok untuk mengangkut material dalam kapasitas besar, *maintenance* murah dan mudah

Ditetapkan :

Panjang belt = 3 m

Waktu operasi = 24 jam

Perhitungan :

Sudut elevasi = 0°

Kapasitas = $87,96 \text{ kg/jam} = 0,8796 \text{ ton/jam}$

Dari [36] table 21-7 untuk mengangkut bahan dengan kapasitas 740,74 kg/jam

didapatkan:

- lebar belt = 35 cm

- Kecepatan = 30,5 m/menit

- Kapasitas = 32 ton/jam

- Hp/100 ft = 0,44 hp

Kecepatan belt = $(0,8796/32) \times 30,5 \text{ m/menit} = 0,08 \text{ m/menit}$

Power :

Untuk panjang belt 3 m:

Hp untuk 100 ft = $(0,8796/32) \times 0,44 \text{ hp} = 0,001 \text{ hp}$

Hp untuk 3 m = $(3 \times 3,2808)/100 \times 0,001 \text{ hp} = 0,0001 \text{ hp}$

Efisiensi = 80%

Power yang diperlukan = $(100\%/80\%) \times 0,0001 \text{ hp} = 0,0001 \text{ hp} \approx 0,5 \text{ hp}$

Spesifikasi alat :

Nama alat : Belt conveyor

Kapasitas : 87,96 kg/jam

Panjang : 3 m

Lebar : 0,35 m

Sudut elevasi : 0°

Bahan : karet

Power : 0,5 hp

Jumlah : 1 buah

83. Packaging Bubble Tea Instant (X370)

Fungsi : untuk mengemas produk yang berupa bubuk

Ukuran kemasan : min. 120 x 150 mm

max. 160 x 250 mm

Kecepatan : 40 – 80 bungkus / menit

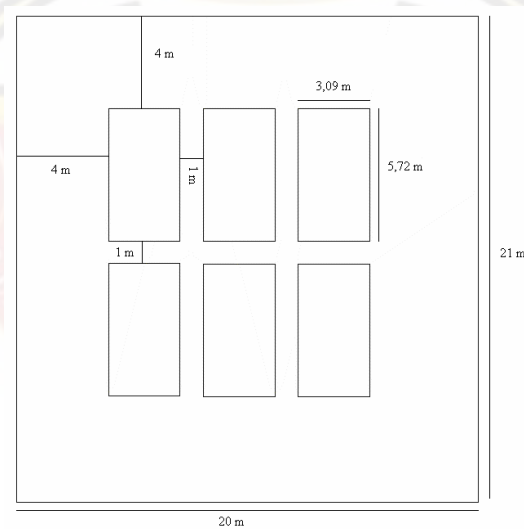
Power : 0,75 hp

Dimensi (p x l x t) : 950 x 690 x 1830 mm

Berat : 266 kg

Jumlah : 1 buah

84. Warehouse Produk



Fungsi : menyimpan produk jadi berupa *bubble tea instant* selama 6 hari.

Waktu tinggal = 6 hari

$$T_{\text{operasi}} = 30^{\circ}\text{C}$$

Ditetapkan :

1 kotak = 5 sachet *bubble tea instant*

1 kardus = 100 kotak

Bubble tea instant yang harus disimpan:

$$\begin{aligned} &= \frac{740.740,74 \text{ gr} / \text{jam}}{40 \text{ gr} / \text{sachet}} \times 24 \text{ jam} \times 6 \text{ hari} \\ &= 2.666.667 \text{ sachet} / 6 \text{ hari} \\ &= 5.334 \text{ kardus} / 6 \text{ hari} \end{aligned}$$

bulk density bubble tea instant = $0,5 \text{ gr/cm}^3$

Diketahui:

Lebar sachet (yang berisi serbuk) = 9 cm

Tinggi sachet (yang berisi serbuk) = 9 cm

Tebal sachet :

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{massa}_{1_sachet}}{\text{lebar}_{1_sachet} \times \text{tinggi}_{1_sachet} \times \rho_{\text{bubble_tea_instant}}} \\ &= \frac{40 \text{ gr}}{9 \text{ cm} \times 9 \text{ cm} \times 0,5 \text{ gr} / \text{cm}^3} \\ &= 0,99 \text{ cm} \approx 1 \text{ cm} \end{aligned}$$

Ditetapkan:

Dimensi kotak : 10 x 7 x 12 cm

Dimensi kardus : 51,5 x 71,5 x 25,5 cm

Lebar tumpukan kardus = 18 kardus = 9,27 m

Panjang tumpukan kardus = 16 kardus = 11,44 m

Tinggi tumpukan kardus :

$$= \frac{5.334 \text{ kardus}}{7 \text{ kardus} \times 18 \text{ kardus}}$$

$$= 18,52 \text{ kardus} = 19 \text{ kardus} = 4,85 \text{ m}$$

Dimensi *warehouse* produk:

Sirkulasi udara = 3 m

Panjang = 11,44 m + 4 m + 4 m + 1 m = 20,44 m \approx 21 m

Lebar = 9,27 m + 4 m + 4 m + 1 m + 1 m = 19,27 m \approx 20 m

Tinggi = 4,85 m + 3 m = 7,85 m \approx 8 m

Kayu untuk alas di warehouse produk

Dimensi kayu per buah :

Panjang = 1 m

Lebar = 15 cm

Tinggi = 15 cm

Ditetapkan : alas kayu untuk warehouse bahan baku sebanyak 3 batang kayu (atas) dan 2 batang kayu (bawah) per tumpukan karung.

Jumlah tumpukan karung dalam warehouse = 288 tumpukan karung

Jumlah kayu yang dibutuhkan = 288 x 5 batang kayu

$$= 1.440 \text{ batang kayu}$$

Exhaust fan

Fungsi : sebagai sirkulasi pertukaran udara

Spesifikasi :

Bahan : stainless steel

Pertukaran udara : 520 m³/jam

Power : 250 Watt

Dimensi : 90 x 50 x 15 cm

Jumlah : 1 buah



APPENDIX D

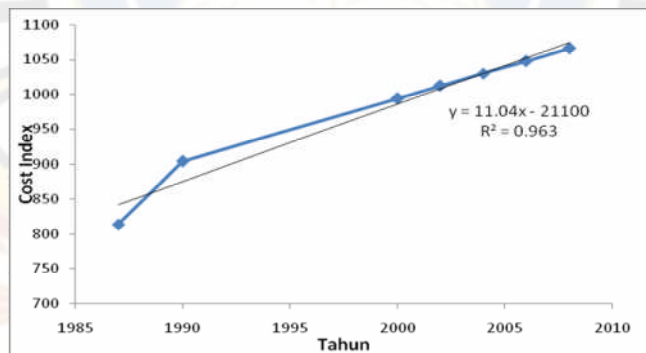
PERHITUNGAN ANALISA EKONOMI

1. Perhitungan Harga Alat

Harga peralatan sering mengalami perubahan karena kondisi ekonomi. Untuk memperkirakan harga peralatan diperlukan indeks yang dapat mengkonversikan harga peralatan sebelumnya menjadi harga ekivalen sekarang. Metode yang digunakan untuk menentukan harga peralatan adalah metode cost index yang dihitung dengan persamaan :

$$H \text{ arg a alat tahun ini} = \frac{\text{indeks harg a saat ini}}{\text{indeks harg a tahun A}} \times \text{harg a alat tahun A}$$

Pada perencanaan pabrik *bubble tea instant*, harga alat diperoleh dari [beberapa](#) supplier [27]. Diperkirakan pabrik *bubble tea instant* akan didirikan pada tahun 2010. Untuk memperoleh cost index diperlukan regresi linear dari grafik di bawah ini:



Gambar D.1. Hubungan cost index vs tahun

Dengan menggunakan regresi linear didapat persamaa $y = 11,04x - 21100$ dimana, $y = \text{cost index}$ dan $x = \text{tahun}$, sehingga diperoleh :

Cost index pada tahun 2008 = 1066 dan tahun 2010 = 1090,4

Contoh perhitungan :

Nama alat : Spray dryer

Bahan konstruksi : *stainless steel 316-L*

Kurs dollar yang digunakan: 1\$ = Rp.10.288,00

Harga tahun 2008 : \$165.000

Harga tahun 2010 : $\frac{1090,4}{1066} \times \$165.000 = \$168.776,74$

Dengan cara yang sama, harga peralatan diperlihatkan pada Tabel D.1. untuk alat proses,

Tabel D.2. untuk alat utilitas dan Tabel D.3. untuk bak penampung utilitas dan proses.

Tabel D.1. Harga Alat Proses

Kode Alat	Nama Alat	Jumlah	Harga 2008 (\$)	Harga 2010 (\$)	Harga Total (\$)
E110	Tangki pemanas air	1	10.000,00	10.228,89	10.228,89
M130	Tangki ekstraksi	1	25.000,00	25.572,23	25.572,23
H131	Plate and frame filter press	1	18.400,00	18.821,16	18.821,16
F132	Tangki penampung	1	3.500,00	3.580,11	3.580,11
F140	Tangki penampung	1	3.500,00	3.580,11	3.580,11
F160	Tangki penampung	1	1.500,00	1.534,33	1.534,33
F161	Tangki penampung	4	5.500,00	5.625,89	22.503,56
M170	Mixer	1	22.500,00	23.015,01	23.015,01
V180	Evaporator	1	5.000,00	5.114,45	5.114,45
G183	Baromatic condensor	1	1.500,00	1.534,33	1.534,33
F181	Tangki penampung	1	3.500,00	3.580,11	3.580,11
B190	Spray dryer	1	165.000,00	168.776,74	168.776,74
H191	Cyclone	1	3.400,00	3.477,82	3.477,82
G198	Baromatic condensor	1	1.000,00	1.022,89	1.022,89

H192	Screen	1	2.328,75	2.382,05	2.382,05
C193	Hammer mill	1	10.000,00	10.228,89	10.228,89
F194	Tangki penampung	1	500,00	511,44	511,44
F210	Tangki penampung	1	5.500,00	5.625,89	5.625,89
F213	Tangki penampung	4	20.000,00	20.547,79	81.831,14
H212	Clarifier	1	2.618,18	2.678,11	2.678,11
M220	Tangki pasteurisasi	1	15.000,00	15.343,34	15.343,34
V230	Evaporator	1	5.000,00	5.114,45	5.114,45
G233	Baromatic condensor	1	1.500,00	1.534,33	1.534,33
F231	Tangki penampung	1	1.500,00	1.534,33	1.534,33
B240	Spray dryer	1	165.000,00	168.776,74	168.776,74
H241	Cyclone	1	3.400,00	3.477,82	3.477,82
G248	Baromatic condensor	1	1.000,00	1.022,89	1.022,89
H242	Screen	1	2.328,75	2.382,05	2.382,05
C243	Hammer mill	1	10.000,00	10.228,89	10.228,89
F244	Tangki penampung	1	500,00	511,44	511,44
F310	Tangki penampung	1	500,00	511,44	511,44
F311	Tangki penampung	4	1.500,00	1.534,33	6.137,34
M330	Mixer	1	3.000,00	3.068,67	3.068,67
M340	Mixer	1	10.000,00	10.228,89	10.228,89
M342	Mixer	1	1.500,00	1.534,33	1.534,33
F344	Tangki penampung	1	2.000,00	2.045,78	2.045,78
B350	Spray dryer	1	72.311,49	73.966,65	73.966,65
H351	Cyclone	1	6.880,00	7.037,48	7.037,48
G358	Baromatic condensor	1	1.000,00	1.022,89	1.022,89
H352	Screen	1	1.164,38	1.191,03	1.191,03
C353	Hammer mill	1	6.500,00	6.648,78	6.648,78
F354	Tangki penampung	1	500,00	511,44	511,44
M250	Mixer	1	20.000,00	20.457,79	20.457,79
X260	Packaging	1	4.124,65	4.219,06	4.219,06
X360	Packaging	1	4.124,65	4.219,06	4.219,06
X370	Packaging	1	4.124,65	4.219,06	4.219,06
J196	Apron conveyor	1	1.636,36	1.673,82	1.673,82
J195	Apron conveyor	1	1.636,36	1.673,82	1.673,82
J197	Apron conveyor	1	1.636,36	1.673,82	1.673,82
J246	Apron conveyor	1	1.636,36	1.673,82	1.673,82
J245	Apron conveyor	1	1.636,36	1.673,82	1.673,82
J247	Apron conveyor	1	1.636,36	1.673,82	1.673,82
J357	Apron conveyor	1	1.636,36	1.673,82	1.673,82
J355	Apron conveyor	1	1.636,36	1.673,82	1.673,82
J356	Apron conveyor	1	1.636,36	1.673,82	1.673,82
J251	Apron conveyor	1	1.636,36	1.673,82	1.673,82
L111	Centrifugal pump	1	1.217,46	1.245,33	1.245,33
L141	Centrifugal pump	1	1.217,46	1.245,33	1.245,33
L171	Centrifugal pump	1	1.496,32	1.530,57	1.530,57
L221	Centrifugal pump	1	1.496,32	1.530,57	1.530,57
L331	Centrifugal pump	1	164,57	168,34	168,34
L182	Centrifugal pump	1	566,86	579,84	579,84
L232	Centrifugal pump	1	566,86	579,84	579,84
	Kompressor	1	1.000,00	1.022,89	1.022,89
L133	Centrifugal pump	1	164,57	168,34	168,34
L343	Centrifugal pump	1	164,57	168,34	168,34
L211	Centrifugal pump	1	2.194,29	2.244,52	2.244,52

L214	Centrifugal pump	1	2.194,29	2.244,52	2.244,52
L112	Centrifugal pump	1	1.252,39	1.281,06	1.281,06
L162	Centrifugal pump	1	347,00	354,94	354,94
L345	Centrifugal pump	1	164,57	168,34	168,34
L341	Centrifugal pump	1	164,57	168,34	168,34
L312	Centrifugal pump	1	164,57	168,34	168,34
G460	Blower	1	2.000,00	2.045,78	2.045,78
J261	Belt conveyor	1	850,00	869,46	869,46
J361	Belt conveyor	1	850,00	869,46	869,46
	Forklift	3	15.000,00	15.343,34	46.030,02
	Exhaust fan	4	115	117,63	470,53
					834.438,08

Total harga alat proses = \$834.438,08

Kurs dollar yang digunakan: 1\$ = Rp.10.288,00

Total harga alat proses = \$834.438,08 x Rp. 10.288,00 = Rp. 8.584.698.940,12

Pallet yang dibutuhkan 2040 batang dengan harga tiap batang Rp. 50.000,00 sehingga: 2040 batang x Rp. 50.000,00 = Rp.102.000.000,00

Total harga alat proses = Rp. 8.584.698.940,12 + Rp.102.000.000,00

= Rp. 8.680.096.758,30

Tabel D.2. Harga alat utilitas

Kode Alat	Nama Alat	Jumlah	Harga 2008 (\$)	Harga 2010 (\$)	Harga Total (\$)
L411	Pompa air sumur	1	347,00	354,94	354,94
L412	Pompai air ke sand filter	1	347,00	354,94	354,94
L414	Pompai air ke carbon filter	1	347,00	354,94	354,94
L421	Pompa air ke tangki demineralisasi	1	164,57	168,34	168,34
L431	Pompa air ke tangki penampung demineralisasi	1	164,57	168,34	168,34
L441	Pompa air ke boiler	1	164,57	168,34	168,34
E510	Boiler	1	50.000,00	51.144,47	51.144,47
F520	Genset	1	100.000,00	102.288,93	102.288,93
	Burner udara panas	3	21.500,00	21.992,12	65.976,36
	Burner batubara	1	21.500,00	21.992,12	21.992,12
H430	Tangki demineralisasi	1	681,82	697,43	697,43
F440	Tangki penampung demineralisasi	1	30.254,87	30.947,38	30.947,38
H413	Sand filter	1	16.500,00	16.877,67	16.877,67
H415	Carbon filter	1	16.500,00	16.877,67	16.877,67

	Tangki penampung solar	1	1.500,00	1.534,33	1.534,33
					309.906,21

Total harga alat utilitas = \$309.906,21

Kurs dollar yang digunakan: 1\$ = Rp.10.288,00

Total harga alat proses = \$309.906,21 x Rp. 10.288,00= Rp.3.188.315.037,33

Tabel D.3. Harga bak penampung utilitas dan proses

Kode Alat	Nama Alat	Luas (m ²)	Rp/m ²	Harga (Rp)
F410	Bak air sumur	22,60	350.000	7.909.794,60
F420	Bak air bersih	61,07	350.000	21.375.817,27
F199	Bak baromatic condensor	31,06	350.000	10.871.700,00
F249	Bak baromatic condensor	31,06	350.000	10.871.700,00
F359	Bak baromatic condensor	6,37	350.000	2.229.500,00
F234	Bak baromatic condensor	73,73	350.000	25.804.800,00
F184	Bak baromatic condensor	51,46	350.000	18.012.015,00
F511	Bak penampung batubara	227,23	350.000	79.529.125,37
				176.604.452,23

Total harga alat (proses dan utilitas) = Rp. 8.680.096.758,30 + Rp. 3.188.315.037,33+ Rp.

176.604.452,23

= Rp. 12.045.016.247,86

2. Perhitungan Harga Bahan Baku

Pabrik *bubble tea instant* memerlukan bahan baku daun teh hijau kering, susu sapi murni, sirup gula aren, dextrin, tapioca starch dan caramel dalam proses pembuatannya. Harga bahan baku dapat dilihat pada Tabel D.4.

Tabel D.4. Harga bahan baku

Bahan baku	Kebutuhan tiap tahun (kg)	Harga jual (Rp.)	Total harga per tahun (Rp.)
Daun teh hijau	271.731,66	15.000,00/kg	4.075.974.922,44
Susu sapi murni	18.929.012,61	2.000/L	36.684.132.965,56
Sirup gula aren	2.378.556,47	1.500/L	2.683.779.461,31

Dextrin	713.566,94	20.576,00/kg	14.682.353.384,86
Tapioca starch	364.095,12	3.000,00/kg	1.092.285.364,11
Caramel	367.179,43	4.000,00/kg	1.468.717.714,29
			59.594.958.448,45

3. Perhitungan Harga Kemasan

Kemasan yang dibutuhkan untuk memproduksi *bubble tea instant* adalah 3 jenis plastik yaitu untuk proses packaging teh dan susu bubuk, proses packaging mutiara dan proses packaging *bubble tea instant*. Selain plastik untuk tiap sachet produk *bubble tea instant* juga diperlukan kotak dan dos, dimana dalam 1 kotak terdiri dari 5 sachet dan dalam 1 dos terdiri dari 100 kotak. Perhitungan harga kemasan dalam produk *bubble tea instant* ditampilkan pada Tabel D.5.

Tabel D.5. Harga kemasan untuk produk *bubble tea instant*

Bahan	Jumlah	Harga/biji (Rp.)	Total harga per tahun (Rp.)
Plastik untuk 1 sachet teh dan susu bubuk	133.333.350	50	6.666.667.500,00
Plastik untuk 1 sachet mutiara	133.333.350	25	3.333.333.750,00
Plastik <i>bubble tea instant</i>	133.333.350	50	6.666.667.500,00
Kotak untuk 5 sachet	26.666.700	100	2.666.670.000,00
Dos untuk 100 sachet	266.700	200	53.340.000,00
			19.386.678.750,00

4. Perhitungan Harga Utilitas

Perhitungan harga utilitas meliputi harga listrik dan harga bahan bakar

Perhitungan harga listrik

Contoh perhitungan :

Pada bab utilitas diketahui bahwa lumen output dari pos satpam 1 adalah 968,73 lumen.

Efficacy dari lampu fluorescent adalah 40 lumen/watt, sehingga didapatkan :

$$\text{Power} = \frac{968,73 \text{ lumen}}{40 \text{ lumen/watt}} = 20 \text{ watt} = 0,02 \text{ kW}$$

Berdasarkan keputusan Presiden Republik Indonesia nomor 76 tahun 2003, biaya listrik luar waktu beban puncak (LWBP) untuk industri adalah Rp. 439/kWh. Sedangkan, biaya listrik waktu beban puncak pada pk. 17.00 – 22.00 adalah 1,4xLWBP. Lampu di pos satpam 1 menyala selama 12 jam/hari yaitu dari jam 17.00-05.00, sehingga biaya listrik dihitung dengan cara berikut :

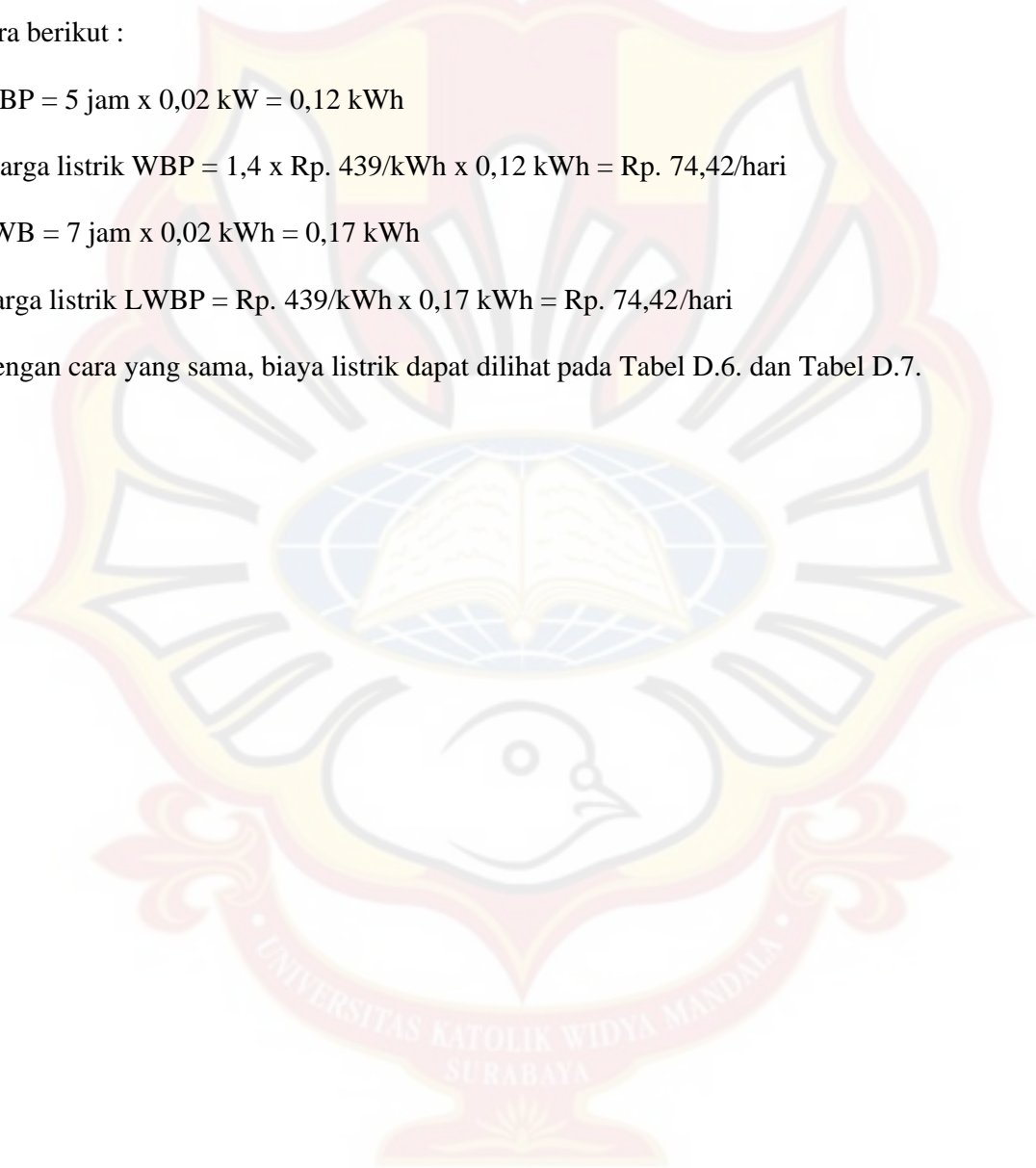
$$\text{WBP} = 5 \text{ jam} \times 0,02 \text{ kW} = 0,12 \text{ kWh}$$

$$\text{Harga listrik WBP} = 1,4 \times \text{Rp. } 439/\text{kWh} \times 0,12 \text{ kWh} = \text{Rp. } 74,42/\text{hari}$$

$$\text{LWB} = 7 \text{ jam} \times 0,02 \text{ kWh} = 0,17 \text{ kWh}$$

$$\text{Harga listrik LWBP} = \text{Rp. } 439/\text{kWh} \times 0,17 \text{ kWh} = \text{Rp. } 74,42/\text{hari}$$

Dengan cara yang sama, biaya listrik dapat dilihat pada Tabel D.6. dan Tabel D.7.



Tabel D.6. Biaya listrik pada lampu yang digunakan

Nama Bangunan	Jenis lampu	Lumen output	Efficancy	Waktu (jam)	kW	kWh (WBP)	kWh (LWBP)	WBP (Rp.)	LWBP (Rp.)
Pos satpam 1	<i>Fluorescent</i>	968,73	40	12	0,02	0,12	0,17	74,42	74,42
Pos satpam 2	<i>Fluorescent</i>	968,73	40	12	0,02	0,12	0,17	74,42	74,42
Pos satpam 3	<i>Fluorescent</i>	968,73	40	12	0,02	0,12	0,17	74,42	74,42
Toilet pos satpam 1	<i>Fluorescent</i>	430,55	40	12	0,01	0,05	0,08	33,08	33,08
Toilet pos satpam 2	<i>Fluorescent</i>	430,55	40	12	0,01	0,05	0,08	33,08	33,08
Toilet pos satpam 3	<i>Fluorescent</i>	430,55	40	12	0,01	0,05	0,08	33,08	33,08
Toilet 1	<i>Fluorescent</i>	430,55	40	12	0,01	0,05	0,08	33,08	33,08
Toilet 2	<i>Fluorescent</i>	430,55	40	12	0,01	0,05	0,08	33,08	33,08
Toilet 3	<i>Fluorescent</i>	430,55	40	12	0,01	0,05	0,08	33,08	33,08
Tempat parkir motor	<i>Mercury</i>	10.763,65	40	12	0,27	1,35	1,88	826,92	826,92
Tempat parkir mobil	<i>Mercury</i>	10.763,65	40	12	0,27	1,35	1,88	826,92	826,92
Tempat parkir truk	<i>Mercury</i>	21.527,30	40	12	0,54	2,69	3,77	1.653,83	1.653,83
Mushola	<i>Fluorescent</i>	3.229,09	49	12	0,07	0,33	0,46	202,51	202,51
Kantor lantai 1	<i>Fluorescent</i>	40.363,68	49	9	0,82	0	7,41	0	3.254,63
Kantor lantai 2	<i>Fluorescent</i>	40.363,68	49	9	0,82	0	7,41	0	3.254,63
Gedung lantai 1 (kantin, poliklinik, mess)	<i>Fluorescent</i>	10.763,65	49	24	0,22	1,10	4,17	675,03	1.832,24
Gedung lantai 2 (mess)	<i>Fluorescent</i>	10.763,65	49	24	0,22	1,10	4,17	675,03	1.832,24
Gedung lantai 3 (mess)	<i>Fluorescent</i>	10.763,65	49	24	0,22	1,10	4,17	675,03	1.832,24
Area proses, kantor lantai 1	<i>Fluorescent</i>	207.953,69	49	24	4,24	21,22	80,64	13.041,67	35.398,81
Area proses, lab lantai 2	<i>Fluorescent</i>	207.953,69	49	24	4,24	21,22	80,64	13.041,67	35.398,81
Gudang produk	<i>Fluorescent</i>	22.603,66	49	24	0,46	2,31	8,76	1.417,57	3.847,70
Gudang bahan baku	<i>Fluorescent</i>	27.285,85	49	24	0,56	2,78	10,58	1.711,21	4.644,72
Gudang caramel	<i>Fluorescent</i>	659,27	49	24	0,01	0,07	0,26	41,35	112,22
Utilitas	<i>Mercury</i>	52.619,95	40	12	1,32	6,58	9,21	4.042,53	4.042,53
Generator	<i>Fluorescent</i>	322,91	40	24	0,01	0,04	0,15	24,81	67,33
Ruang pendingin	<i>Fluorescent</i>	31.968,04	49	9	0,65	0	5,87	0	2.577,67
					15,08			39.277,81	102.027,67

Tabel D.7. Biaya listrik pada alat

Alat	hp	kW	kWh (WBP)	kWh (LWBP)	WBP (Rp.)	LWBP (Rp.)
Proses	431,57	321,82	1.609,09	6.114,56	988.949,35	2.684.291,10
Utilitas	1,46	1,09	5,43	20,62	3.334,96	9.052,04
Total		322,90			992.284,31	2.693.343,14

Total biaya listrik dari lampu dan alat

= Rp. 39.277,81 + Rp. 102.027,67 + Rp. 992.284,31 + Rp. 2.693.343,14

= Rp. 3.826.932,94/hari = Rp. 1.148.079.881,64/tahun

Biaya beban listrik = Rp. 18.500,00/kW bulan

Kebutuhan listrik total = (15,08 + 322,90) kW = 337,99 kW

Total biaya beban dalam setahun = 337,99 kW x Rp. 18.500,00/kW bulan x 12 bulan/tahun

= Rp. 75.032.802,41

Total biaya listrik = Rp. 1.148.079.881,64 + Rp. 75.032.802,41 = Rp. 1.223.112.684,05/tahun

Tabel D.8. Biaya utilitas

Bahan	Harga per kg/L (Rp.)	Jumlah kebutuhan per hari	Jumlah kebutuhan per tahun	Harga per tahun (Rp.)
Listrik	-	-	-	1.223.111.334,75
NaCl	5.000,00/kg	-	202,64	1.013.203,13
Zeolite	2.500,00/kg	-	211,77	529.425,00
Carbon	2.500,00/kg	327,06	327,06	817.647,78
Sand	30.000,00/kg	0,37	0,37	11.103,98
Batubara	300,00/kg	8.646,92	2.594.077,46	778.223.237,73
R134a	250.000,00/kg	9,19	9,19	2.296.716,60
Solar	4.500,00/L	-	2.420,17	10.890.781,83
				2.016.893.450,79

5. Perhitungan Harga Jual Produk

Produk *bubble tea instant* yang dihasilkan 5.334 dos/6 hari, sehingga selama 300 hari

dihasilkan 266.700 dos. Harga jual per dos adalah Rp. 475.000,00 (dalam satu dos terdapat

500 sachet *bubble tea instant*). Pendapatan *bubble tea instant* per tahun adalah Rp. Rp.475.000,00 x 266.700 dos = Rp. 126.682.500.000,00

6. Perhitungan Gaji Karyawan

Jumlah karyawan di pabrik *bubble tea instant* sebanyak 120 orang dengan gaji pegawai ditetapkan selama 12 bulan dan 1 bulan tunjangan. Karyawan pabrik *bubble tea instant* terdiri dari :

1. Karyawan non shift

Karyawan yang bekerja non shift adalah direktur, sekretaris, manager, kepala bagian, dan para karyawan di bidang keuangan, akuntansi, personalia, pemasaran dengan jam kerja Senin–Jumat pukul 08.00-16.00 dan hari Sabtu pukul 08.00-12.00.

2. Karyawan shift

Karyawan yang bekerja shift adalah buruh harian, karyawan di bidang proses dan utilitas, bagian keamanan, *maintenance*, dan kesehatan dengan jam kerja dari hari Senin-Minggu dengan jadwal :

Shift pagi : pukul 07.00-15.00

Shift siang : pukul 15.00-23.00

Shift malam : pukul 23.00–07.00

Pergantian shift dilakukan setiap 3 hari sekali yang ditampilkan pada Tabel D.8.

Tabel D.9. Shift pergantian kerja karyawan shift

Shift	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
Pagi (07.00-15.00)	1	2	3	4	1	2	3
Siang (15.00-23.00)	2	3	4	1	2	3	4
Malam (23.00-07.00)	3	4	1	2	3	4	1

Perhitungan gaji karyawan dapat dilihat pada Tabel D.9.

Tabel D.10. Perhitungan gaji karyawan

Posisi	Jumlah	Gaji	Total
Direktur	1	15.000.000	15.000.000
Sekretaris	1	2.500.000	2.500.000
Manager keuangan	1	6.000.000	6.000.000
Manager produksi	1	6.000.000	6.000.000
Manager HRD	1	6.000.000	6.000.000
Manager pemasaran	1	6.000.000	6.000.000
Manager RnD	1	6.000.000	6.000.000
Kepala bagian umum	1	4.000.000	4.000.000
Kepala bagian akuntan	1	4.000.000	4.000.000
Kepala bagian keuangan	1	4.000.000	4.000.000
Kepala bagian laboratorium	1	4.000.000	4.000.000
Kepala bagian proses dan utilitas	1	4.000.000	4.000.000
Kepala bagian <i>maintenance</i>	1	4.000.000	4.000.000
Kepala bagian pemasaran	1	4.000.000	4.000.000
Kepala bagian personalia	1	4.000.000	4.000.000
Pegawai akuntan	3	1.250.000	3.750.000
Pegawai keuangan	2	1.250.000	2.500.000
Pegawai laboratorium	2	1.250.000	2.500.000
Pegawai proses	28	1.250.000	35.000.000
Pegawai utilitas	5	1.250.000	6.250.000
Pegawai <i>maintenance</i>	5	1.250.000	6.250.000
Pegawai pemasaran	5	1.250.000	6.250.000
Sopir	5	800.000	4.000.000
Pegawai bagian keamanan	2	800.000	1.600.000
(gudang)	3	1.000.000	3.000.000
Kepala satpam	6	800.000	4.800.000
Satpam	2	1.000.000	2.000.000
Kepala gudang	4	950.000	3.800.000
Buruh gudang	24	800.000	19.200.000
Buruh harian	4	1.500.000	6.000.000
Petugas kesehatan	5	800.000	4.000.000
Petugas kebersihan			
Total	120		190.400.000

Gaji karyawan = Rp. 190.400.000/bulan x 13 bulan/tahun

= Rp. 2.475.200.000,00/tahun

7. Perhitungan Harga Tanah dan Bangunan

Luas tanah = $11.390,00 \text{ m}^2$

Harga tanah = Rp. $450.000,00/\text{m}^2$

Harga tanah total = Rp. $5.125.500.000,00$

Harga bangunan = $3.729,68 \text{ m}^2$

Harga bangunan = Rp. $2.000.000,00/\text{m}^2$

Harga bangunan total = Rp. $7.459.367.187,50$

8. Jadwal Alat

Alat pada pabrik *bubble tea instant* bekerja secara semikontinyu. Dalam satu hari proses ini akan berlangsung sebanyak 9 batch. Berikut ini akan ditampilkan operasi jadwal alat.

Batch 1							
Hari	1	2	3	4	5	6	7
Ekstraksi M130	08.00 - 10.30						
Tangki penampung F132	10.30 -11.00						
Plate and frame filter press	11.00 - 12.00						

H131	
Tangki penampung F140	12.00 - 12.30
Mixer M170	12.30 - 14.00
Evaporator V180	14.00 - 16.30
Tangki penampung F181	16.30 - ...
Spray dryer B190	
Screening H192	
Hammer mill C193	
Tangki penampung F194	
Clarifier H212	10.30 - 13.00
Pasteurisasi M220	13.00 - 14.00
Evaporator V230	14.00 - 16.30
Tangki penampung F231	16.30 - ...
Spray dryer B240	
Screening H242	
Hammer mill C243	
Tangki penampung F244	
Mixer M250	
Packaging X260	
Mixer M330	16.30 - 17.30
Mixer M340	15.30 - 18.00
Tangki penampung F344	18.00 - 18.30
Spray dryer B350	18.30 - 19.30
Screening H352	19.30 - 21.00
Hammer mill C353	20.00 - 21.00
Tangki mixing F342	21.00 - 21.35
Tangki penampung F354	21.35 - ...
Packaging X360	
Packaging X370	
Batch 2	
Hari	1 2 3 4 5 6 7
Ekstraksi M130	10.30 - 13.00
Tangki penampung F132	13.00 - 13.30
Plate and frame filter press H131	13.30 - 14.30
Tangki penampung F140	14.30 - 15.00
Mixer M170	15.00 - 16.30
Evaporator V180	16.30 - 19.00
Tangki penampung F181	19.00 - 19.30

Spray dryer B190	19.30 - 20.30
Screening H192	19.30 - 21.00
Hammer mill C193	20.00 - 21.00
Tangki penampung F194	20.30 - 21.00
Clarifier H212	13.00 - 15.30
Pasteurisasi M220	15.30 - 16.30
Evaporator V230	16.30 - 19.00
Tangki penampung F231	19.00 - 19.30
Spray dryer B240	19.30 - 20.30
Screening H242	19.30 - 21.00
Hammer mill C243	20.00 - 21.00
Tangki penampung F244	20.30 - 21.00
Mixer M250	21.00 - 22.00
Packaging X260	22.00 - 23.30
Mixer M330	19.00 - 20.00
Mixer M340	18.00 - 20.30
Tangki penampung F344	20.30 - 21.00
Spray dryer B350	21.00 - 22.00
Screening H352	22.00 - 23.30
Hammer mill C353	22.30 - 23.30
Tangki mixing F342	23.30 - 00.05
Tangki penampung F354	23.00 - 23.30
Packaging X360	23.30 - 01.00
Packaging X370	01.00 - 02.30

Batch 3

Hari	1	2	3	4	5	6	7
Ekstraksi M130	13.00 - 15.30						
Tangki penampung F132	15.30 - 16.00						
Plate and frame filter press H131	16.00 - 17.00						
Tangki penampung F140	17.00 - 17.30						
Mixer M170	17.30 - 19.00						
Evaporator V180	19.00 - 21.30						
Tangki penampung F181	21.30 - 22.00						
Spray dryer B190	22.00 - 23.00						
Screening H192	22.00 - 23.30						
Hammer mill C193	22.30 - 23.30						
Tangki penampung F194	23.00 - 23.30						
Clarifier H212	15.30 - 18.00						

Pasteurisasi M220	18.00 - 19.00
Evaporator V230	19.00 - 21.30
Tangki penampung F231	21.30 - 22.00
Spray dryer B240	22.00 - 23.00
Screening H242	22.00 - 23.30
Hammer mill C243	22.30 - 23.30
Tangki penampung F244	23.00 - 23.30
Mixer M250	23.30 - 00.30
Packaging X260	00.30 - 02.00
Mixer M330	21.30 - 22.30
Mixer M340	20.30 - 23.00
Tangki penampung F344	23.00 - 23.30
Spray dryer B350	23.30 - 00.30
Screening H352	23.30 - 01.00
Hammer mill C353	00.00 - 01.00
Tangki mixing F342	01.00 - 01.35
Tangki penampung F354	00.30 - 01.00
Packaging X360	01.00 - 02.30
Packaging X370	02.30 - 04.00

Batch 4							
Hari	1	2	3	4	5	6	7
Ekstraksi M130	15.30 - 18.00						
Tangki penampung F132	18.00 - 18.30						
Plate and frame filter press H131	18.30 - 19.30						
Tangki penampung F140	19.30 - 20.00						
Mixer M170	20.00 - 21.30						
Evaporator V180	21.30 - 00.00						
Tangki penampung F181		00.00 - 00.30					
Spray dryer B190		00.30 - 01.30					
Screening H192		00.30 - 02.00					
Hammer mill C193		01.00 - 02.00					
Tangki penampung F194		01.30 - 02.00					
Clarifier H212	18.00 - 20.30						
Pasteurisasi M220	20.30 - 21.30						
Evaporator V230	21.30 - 00.00						
Tangki penampung F231		00.00 - 00.30					
Spray dryer B240		00.30 - 01.30					
Screening H242		00.30 - 02.00					

Hammer mill C243	01.00 - 02.00
Tangki penampung F244	01.30 - 02.00
Mixer M250	02.00 - 03.00
Packaging X260	03.00 - 04.30
Mixer M330	00.00 - 01.00
Mixer M340	23.00 - 01.30
Tangki penampung F344	01.30 - 02.00
Spray dryer B350	02.00 - 03.00
Screening H352	02.00 - 03.30
Hammer mill C353	02.30 - 03.30
Tangki mixing F342	03.30 - 04.05
Tangki penampung F354	03.00 - 03.30
Packaging X360	03.30 - 05.00
Packaging X370	05.00 - 06.30

Batch 5							
Hari	1	2	3	4	5	6	7
Ekstraksi M130	18.00 - 20.30						
Tangki penampung F132	20.30 - 21.00						
Plate and frame filter press H131	21.00 - 22.00						
Tangki penampung F140	22.00 - 22.30						
Mixer M170	22.30 - 00.00						
Evaporator V180		00.00 - 02.30					
Tangki penampung F181		02.30 - 03.00					
Spray dryer B190		03.00 - 04.00					
Screening H192		03.00 - 04.30					
Hammer mill C193		03.30 - 04.30					
Tangki penampung F194		03.30 - 04.30					
Clarifier H212	20.30 - 23.00						
Pasteurisasi M220	23.00 - 00.00						
Evaporator V230		00.00 - 02.30					
Tangki penampung F231		02.30 - 03.00					
Spray dryer B240		03.00 - 04.00					
Screening H242		03.00 - 04.30					
Hammer mill C243		03.30 - 04.30					
Tangki penampung F244		04.00 - 04.30					
Mixer M250		04.30 - 05.30					
Packaging X260		05.30 - 07.00					
Mixer M330		02.30 - 03.30					

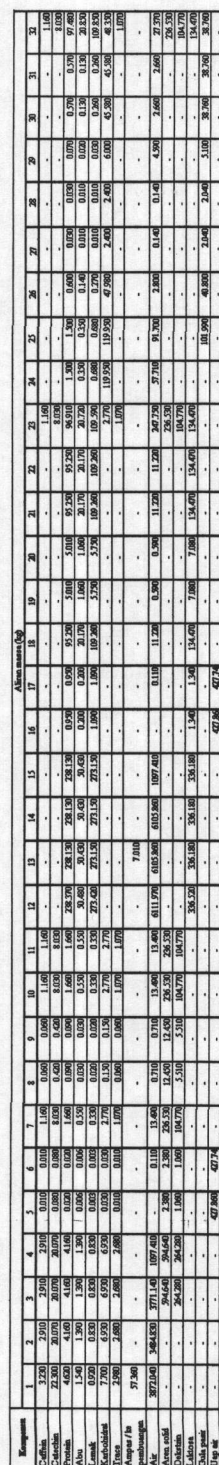
Mixer M340	01.30 - 04.00
Tangki penampung F344	04.00 - 04.30
Spray dryer B350	04.30 - 05.30
Screening H352	04.30 - 06.00
Hammer mill C353	05.00 - 06.00
Tangki mixing F342	06.00 - 06.35
Tangki penampung F354	05.30 - 06.00
Packaging X360	06.00 - 07.30
Packaging X370	07.30 - 09.00

Batch 6							
Hari	1	2	3	4	5	6	7
Ekstraksi M130	20.30 - 23.00						
Tangki penampung F132	23.00 - 23.30						
Plate and frame filter press H131	23.30 - 00.30						
Tangki penampung F140		00.30 - 01.00					
Mixer M170		01.00 - 02.30					
Evaporator V180		02.30 - 05.00					
Tangki penampung F181		05.00 - 05.30					
Spray dryer B190		05.30 - 06.30					
Screening H192		05.30 - 07.00					
Hammer mill C193		06.00 - 07.00					
Tangki penampung F194		06.30 - 07.00					
Clarifier H212	23.00 - 01.30						
Pasteurisasi M220		01.30 - 02.30					
Evaporator V230		02.30 - 05.00					
Tangki penampung F231		05.00 - 05.30					
Spray dryer B240		05.30 - 06.30					
Screening H242		05.30 - 07.00					
Hammer mill C243		06.00 - 07.00					
Tangki penampung F244		06.30 - 07.00					
Mixer M250		07.00 - 08.00					
Packaging X260		08.00 - 09.30					
Mixer M330		05.00 - 06.00					
Mixer M340		04.00 - 06.30					
Tangki penampung F344		06.30 - 07.00					
Spray dryer B350		07.00 - 08.00					

Tangki penampung F354	10.30 - 11.00
Packaging X360	11.00 - 12.30
Packaging X370	12.30 - 14.00

Batch 8							
Hari	1	2	3	4	5	6	7
Ekstraksi M130		01.30 - 04.00					
Tangki penampung F132		04.00 - 04.30					
Plate and frame filter press H131		04.30 - 05.30					
Tangki penampung F140		05.30 - 06.00					
Mixer M170		06.00 - 07.30					
Evaporator V180		07.30 - 10.00					
Tangki penampung F181		10.00 - 10.30					
Spray dryer B190		10.30 - 11.30					
Screening H192		10.30 - 12.00					
Hammer mill C193		11.00 - 12.00					
Tangki penampung F194		11.30 - 12.00					
Clarifier H212		04.00 - 06.30					
Pasteurisasi M220		06.30 - 07.30					
Evaporator V230		07.30 - 10.00					
Tangki penampung F231		10.00 - 10.30					
Spray dryer B240		10.30 - 11.30					
Screening H242		10.30 - 12.00					
Hammer mill C243		11.00 - 12.00					
Tangki penampung F244		11.30 - 12.00					
Mixer M250		12.00 - 13.00					
Packaging X260		13.00 - 14.30					
Mixer M330		10.00 - 11.00					
Mixer M340		09.00 - 11.30					
Tangki penampung F344		11.30 - 12.00					
Spray dryer B350		12.00 - 13.00					
Screening H352		12.00 - 13.30					
Hammer mill C353		12.30 - 13.30					
Tangki mixing F342		13.30 - 14.05					
Tangki penampung F354		13.00 - 13.30					
Packaging X360		13.30 - 15.00					
Packaging X370		15.00 - 16.30					

Batch 9							
Hari	1	2	3	4	5	6	7
Ekstraksi M130		04.00 - 06.30					
Tangki penampung F132		06.30 - 07.00					
Plate and frame filter press H131		07.00 - 08.00					
Tangki penampung F140		08.00 - 08.30					
Mixer M170		08.30 - 09.30					
Evaporator V180		09.30 - 12.00					
Tangki penampung F181		12.00 - 12.30					
Spray dryer B190		12.30 - 13.30					
Screening H192		12.30 - 14.00					
Hammer mill C193		13.00 - 14.00					
Tangki penampung F194		13.30 - 14.00					
Clarifier H212		06.30 - 09.00					
Pasteurisasi M220		09.00 - 10.00					
Evaporator V230		10.00 - 12.30					
Tangki penampung F231		12.30 - 13.00					
Spray dryer B240		13.00 - 14.00					
Screening H242		13.00 - 14.30					
Hammer mill C243		13.30 - 14.30					
Tangki penampung F244		14.00 - 14.30					
Mixer M250		14.30 - 15.30					
Packaging X260		15.30 - 17.00					
Mixer M330		12.30 - 13.30					
Mixer M340		11.30 - 14.00					
Tangki penampung F344		14.00 - 14.30					
Spray dryer B350		14.30 - 15.30					
Screening H352		14.30 - 16.00					
Hammer mill C353		15.00 - 16.00					
Tangki mixing F342		16.00 - 16.35					
Tangki penampung F354		15.30 - 16.00					
Packaging X360		16.00 - 17.30					
Packaging X370		17.30 - 19.00					

[illegible][illegible]